ANNO LIII
NUMERO 2
AGOSTO 2004

Elettronica e telecomunicazioni

Rai

Elettronica e telecomunicazioni

Edizione ottimizzata per la stampa.
La rivista è disponibile su web
alla URL www.crit.rai.it/eletel.htm

Anno LIII
N° 2
Agosto 2004

Rivista
quadrimestrale
a cura della Rai

Indice

Editoriale

ing. Gianfranco **Barbieri**
Direttore di
"Elettronica e
Telecomunicazioni"

L'attuale numero della rivista è dedicato alla televisione stereoscopica.

L'idea di dare una caratterizzazione tridimensionale alle immagini televisive non è nuova; i primi tentativi di realizzare un servizio di trasmissione stereoscopica risalgono infatti agli anni '50 (a parte i primissimi esperimenti di laboratorio condotti da Baird a metà degli anni '20 facendo ricorso ad un disco di Nipkov opportunamente adattato).

I tentativi di individuare soluzioni praticabili dal punto di vista commerciale hanno finora incontrato una serie di limitazioni che hanno frenato la messa a punto di un sistema proponibile al mercato consumer.

Un primo ostacolo è costituito dall'esigenza di trasmettere due segnali nello stesso canale televisivo, il tutto rispettando i requisiti di compatibilità con il preesistente parco di ricevitori (un problema analogo era stato brillantemente risolto ai tempi dell'introduzione della TV a colori con l'invenzione dei sistemi di codifica NTSC, PAL e SECAM).

Un secondo ordine di problemi è rappresentato dalla modalità visualizzazione delle immagini tridimensionali; sono state proposte varie soluzioni (occhiali colorati, lenti polarizzate, ecc.) ma nessuna di queste si è finora dimostrata pienamente soddisfacente. A risvegliare l'interesse per televisione stereoscopica e dare nuovo impulso alle sperimentazioni sono intervenuti due eventi recenti: la rivoluzione della TV digitale e lo sviluppo di nuove generazioni di schermi.

Il primo articolo compie un excursus storico sulle varie tappe che hanno segnato i tentativi di riprodurre immagini creando l'effetto tridimensionale, partendo da semplici immagini disegnate, passando attraverso la fotografia, la cinematografia e giungendo infine alla televisione.

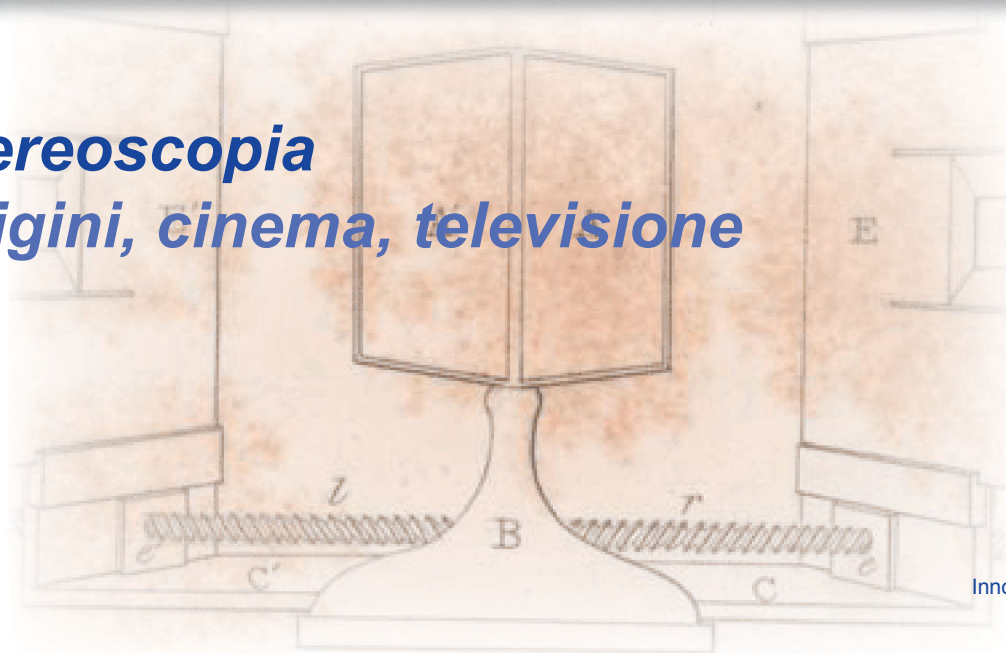
I principi che stanno alla base della visione stereoscopica sono esposti nel corposo articolo su: "Televisione stereoscopica – Le basi della tecnica stereoscopica". In esso vengono richiamati i più importanti elementi di fisiologia della visione e, sulla base dei suddetti elementi, vengono illustrate le tecniche studiate per effettuare le riprese di immagini stereoscopiche. Il problema della ripresa televisiva costituisce uno dei punti di maggior criticità poiché è praticamente impossibile riprodurre con assoluta fedeltà, tramite un sistema di telecamere, la geometria con cui un osservatore sarebbe spettatore di una situazione reale.

L'articolo intitolato "Realizzazione del cortometraggio stereoscopico: Le cartoline di Francesca" riporta i risultati di una sperimentazione coordinata dal Centro Ricerche della RAI in collaborazione con il Centro di Produzione RAI di Torino.

A supporto dei citati articoli vengono pubblicate due schede sui recenti sviluppi tecnologici degli schermi.

Gli schermi autostereoscopici rappresentano la vera innovazione in quanto consentono, pur con i limiti che l'industria sta sforzandosi di superare, una visione tridimensionale senza che si debba fare ricorso ai tradizionali occhiali che, in varia misura, producono sempre un certo affaticamento degli occhi. I risultati finora conseguiti sono stati resi possibili grazie al netto miglioramento delle tecnologie costruttive dei moderni display.

La scheda sui display riprende una tematica già ampiamente trattata negli anni scorsi su questa rivista; vengono, in particolare, evidenziati i progressi compiuti, negli ultimi due anni, nel campo degli schermi a LCD e dei retroproiettori a microspecchi le cui prestazioni rendono ormai tali tecnologie comparabili, sia sul piano della qualità che su quello della durata e affidabilità, ai tradizionali tubi a raggi catodici.

Stereoscopia
Origini, cinema, televisione

ing. Marzio **Barbero**
ing. Mario **Muratori**

Rai
Centro Ricerche e
Innovazione Tecnologica
Torino

Sommario
Un breve excursus storico sull'evoluzione delle tecniche stereoscopiche e sulle applicazioni in campo cinematografico e televisivo.

1. Le origini della stereoscopia

L'idea di stereoscopia è molto antica. Fu Euclide nel 208 a.c. a comprendere i principi della visione tridimensionale: ciascuno dei nostri occhi percepisce un'immagine leggermente differente dall'altro ed è la combinazione delle due immagini a fornirci della percezione della terza dimensione. Nel 1584 Leonardo da Vinci studiò la percezione della profondità. Giovanni Battista della Porta (1538-1615) produsse il primo disegno artificiale tridimensionale e Jacopo Chimenti da Empoli (1554-1640) realizzò disegni affiancati (figura 1) che chiaramente dimostrano la comprensione della visione binoculare.

Nel 1613 il gesuita Francois d'Aguillion (1567-1617) coniò in un suo trattato il termine "stéréoscopique".

Nel 1833 il Professor Sir Charles Wheatstone (figura 2) dimostrò che, ponendo due disegni leggermente diversi l'uno accanto all'altro e osservandoli attraverso un sistema di specchi e prismi è possibile produrre artificialmente l'effetto della visione tridimensionale e nel giugno 1838,

Fig. 1 - Coppia di disegni di Jacopo Chimenti da Empoli

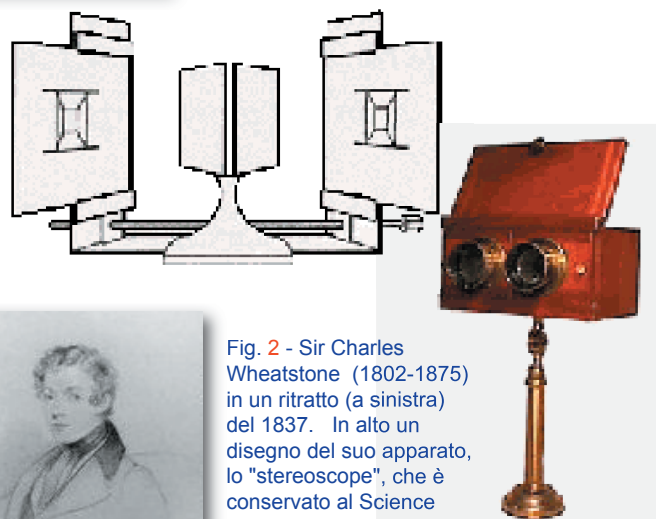



Fig. 2 - Sir Charles Wheatstone (1802-1875) in un ritratto (a sinistra) del 1837. In alto un disegno del suo apparato, lo "stereoscope", che è conservato al Science Museum di Londra (foto a destra).

Fig. 3 - Uno degli stereoscopi progettati da Brewster (del 1860 circa)

illustrando la visione binoculare alla *Royal Scottish Society of Arts*, propose di denominare l'apparato "*stereoscope*, al fine di indicare le sue proprietà di rappresentare figure solide" (la parola è composta dai due termini greci *stereos*, solido, e *scopos*, che guarda).

Nel 1844, Sir David Brewster (che nel 1816 aveva brevettato il caleidoscopio, dal greco *kalos,* bello, *eidos*, forma, e *scopos*, che guarda) apportò miglioramenti allo stereoscopio.

Fu l'interesse della Regina Vittoria, dimostrato a partire dalla Grande Esposizione del 1851 a Londra, che rese molto popolare la stereoscopia: nel 1856, secondo Brewster, erano stati venduti già mezzo milione dei suoi stereoscopi (figura 3), malgrado il costo fosse molto elevato.

Un americano, Oliver Wendell Holmes, realizzò una versione meno cara dell'apparato, in alluminio, consentendo la diffusione di grandi quantità di immagini stereo, montate su cartoncino.

La moda di raccogliere immagini stereo continuò fino alla prima guerra mondiale, che infatti fu documentata da diversi gruppi di fotografi dotati di apparati fotografici stereo. Furono molti i produttori di macchine fotografiche stereo a partire dalla seconda metà del '800 (figura 4).

Un certo numero di società si specializzò nella produzione di immagini stereo e di visualizzatori, la più nota di queste fu l'americana View-Master, fondata alla fine degli anni '30 (figura 5).

Fig. 4 - 1856: il primo apparecchio fotografico dotato di due obbiettivi fu realizzata da J.B Dancer, un ottico di Manchester. E' costituito da una camera a cassetti dotato di un magazzino di dodici lastre al collodio.

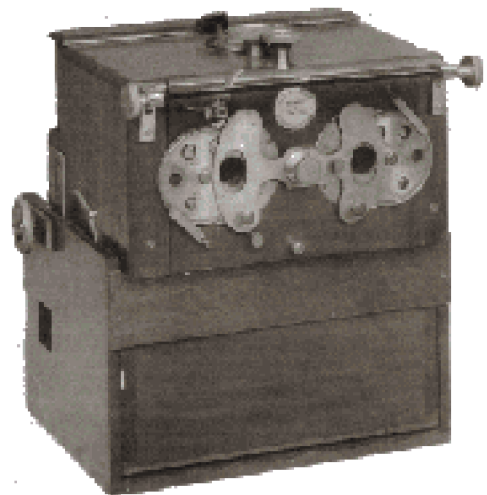



Fig. 5 - Il visualizzatore View Master usa 7 paia di fotografie montate sulla circonferenza di un disco di 90 mm di diametro. Può essere molto semplice ed utilizzare la luce naturale per l'illuminazione delle foto.

2. Le tecniche

2.1 Anaglifia

Un anaglifo (dal greco *anáglyphos,* composta da *aná,* sopra, e *glýphein*, incidere, cesellare) è un'immagine ottenuta sovrapponendo i due fotogrammi di uno stereogramma colorati con due differenti colori, ad esempio il rosso per l'immagine destra e il verde per l'immagine sinistra. In questo modo osservando l'immagine tramite lenti di colori analoghi (rosso per l'occhio destro e verde per l'occhio sinistro), si ottiene che l'occhio destro veda la sola immagine destra e l'occhio sinistro la sola immagine sinistra.

Con questa tecnica le due immagini possono essere sullo stesso fotogramma, ovvero, nel caso televisivo, è sufficiente un solo canale per inviare le informazioni.

Nel tempo sono state utilizzate diverse coppie di colori. La coppia rosso-verde funziona abbastanza bene con le immagini stampate, anche se l'immagine percepita attraverso gli occhiali tende ad apparire gialla.

In campo cinematografico, i primi esperimenti furono fatti con la coppia giallo-blu, ma in questo caso, oltre ad una variazione del colore, risulta difficile avere immagini prive di effetto *ghost* (fantasma).

La coppia rosso-ciano combina tutti e tre i primari: l'immagine destinata all'occhio sinistro viene filtrata in modo da contenere solo i contributi verde e blu (cioè ciano), mentre quella destinata all'occhio destro viene filtrata per contenere i soli contributi relativi al rosso. La combinazione dell'immagine destra e sinistra viene visualizzata sullo schermo e le lenti colorate degli occhiali operano come filtri, consentendo a ciascun occhio di percepire solo l'immagine ad essa destinata e impedendo la percezione dell'immagine destinata all'altro occhio. La coppia rosso-ciano consente di avere una discreta rappresentazione del colore e una visione neutra delle immagini bianco-nero.

2.2 Effetto Pulfrich

Prende nome dal fisico tedesco Carl Pulfrich che illustra il fenomeno in un articolo del 1922. E' un'illusione ottica che si manifesta solo se la luce che raggiunge un occhio è attenuata rispetto all'altro. Una stimolazione contemporanea dei punti retinici corrispondenti origina una eccitazione, ma dopo un lieve ritardo, periodo di latenza, che è inversamente proporzionale all'intensità dello stimolo. Variando la differenza in intensità luminosa, ponendo ad esempio una lente scura di fronte ad uno degli occhi, si ottiene una differente laten-

Fig. 6 - Occhiali di diverso tipo e costo, che sfruttano le diverse tecniche.
Da sinistra a destra:
- da sovrapporre a occhiali normali per vedere anaglifi
- economici, per effetto Pulfrich
- con lenti polarizzate
- elettroniche, con otturatore comandato da raggi infrarossi

Fig. 7 - Sullo sfondo "L'arrivée du train",
in primo piano alcune immagini relative a film tridimensionali: "Bwana Devil" del 1952. "Dial M for Murder" di Hitchcock (1954), "Hondo" con John Wayne (1953) e "Jaws 3D" (1983).

za nella percezione dello stimolo, dando origine all'illusione stereoscopica. Un oggetto che si muove su un piano parallelo alla fronte dell'osservatore sembra quindi allontarsi dal piano, tanto più quanto è alta la velocità, avvicinandosi o allontanandosi dall'osservatore, in funzione della direzione del movimento.

Ad esempio, se un pendolo viene fatto oscillare, in condizioni normali si muove avanti e indietro su un piano, ma se davanti ad uno degli occhi viene posta una lente scura, il pendolo improvvisamente sembra descrivere un'orbita ellittica parallela al pavimento.

2.2 Luce polarizzata

In questo caso due proiettori inviano sullo schermo le due immagini destinate agli occhi degli spettatori: ciascun proiettore è dotato di un filtro che polarizza la luce in modo che i due segnali luminosi riflessi dallo schermo siano polarizzati in modo ortogonale fra loro. Gli spettatori sono dotati di occhiali con lenti polarizzate (figura 6), in modo da filtrare uno dei due fasci luminosi: ciascun occhio vede uno solo dei due segnali.

2.3 Occhiali LCD

Gli spettatori, in queso caso, indossano degli occhiali con filtri a cristalli liquidi (LCD) alimentati mediante pile e capaci di lavorare in sincronia con il proiettore. Questi occhiali, più complessi e pesanti della versione precedente, attrezzati appunto con due lenti/filtri LCD, uno per occhio, sono sincronizzati con un segnale infrarosso generato dal sistema di proiezione che alternativamente oscura un LCD che agisce come otturatore (*shutter*).

3. Il cinema stereoscopico

Quando il film "*L'arrivée du train en gare de La Ciotat*", realizzato dai fratelli Lumière nel 1903, fu proiettato, gli spettatori, presi dal panico, pensavano che il treno stesse per investirli. Si fa quindi riferimento a questo episodio, come inizio del cinema atto a creare la sensazione della terza dimensione. Da allora sono stati prodotti almeno 250 fra film e programmi televisivi stereoscopici.

Fino al 1946 la realizzazione di alcuni film, con *budget* limitati, contribuisce a raffinare le tecniche della produzione stereoscopica.

Il primo periodo di sviluppo dei film 3D è durante gli anni '50. “Bwana Devil”, nel 1952, ebbe successo commerciale e attirò l'attenzione delle *major studios*, che girarono in quel periodo più di 60 film (figura 7). Difficoltà e costo di adattamento delle sale di visione fu la causa del declino dell'interesse per le produzioni 3D.

L'interesse da parte di diversi produttori crebbe nuovamente nel periodo 1973-1985. Tuttavia anche in questo caso le possibilità offerte dalla visione con occhiali di cartone non erano sufficienti a mantenere vivo il fenomeno.

La rivoluzione, dal punto di vista tecnologico e spettacolare, avvenne con l'introduzione del sistema IMAX-3D® che fu per la prima volta presentato al pubblico all'Expo ‘86 in Vancouver con *“Transitions”* (figura 8).

IMAX® adotta i diversi sisteml di proiezione: il sistema anaglifo, quello con luce polarizzata e quello con occhiali a cristalli liquidi.

Nel caso dell'IMAX 3D II proiettore, a doppie lenti, manda a turno l’immagine dell’occhio destro e di quello sinistro sullo schermo, con una frequenza di 96 volte al secondo in sincronia con la maschera. Questo metodo consente ottimo posizionamento e stabilità delle immagini.

L’IMAX Solido infine, usa un sistema stereoscopico a singolo proiettore da 48 fotogrammi al secondo (24 al secondo per ogni occhio) ed è compatibile con le sale Imax Dome-OmniMax.

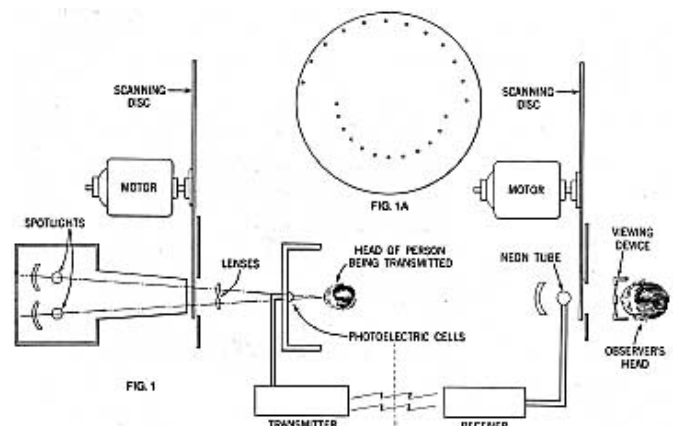
Fig. 8 - Il primo film IMAX-3D® è “Transitions” (durata 21') dove allo spettatore che, per esempio, visita una fabbrica di giocattoli, sembra di poter afferrare gli orsacchiotti di pezza.

Lo schema di un teatro IMAX-3D è tratto dal sito www.imax.com.

Il teatro IMAX più grande d'Europa è, dal 26 giugno 2004, in Italia, a Riccione. Lo schermo misura 638 m^2, 22 x 29 m, e sono 497 le poltrone per gli spettatori.

4. La televisione stereoscopica

In campo televisivo i primi esperimenti furono effettuati da Baird negli anni '20, utilizzando un sistema basato su disco di Nipkow con doppia spirale (figura 9). I segnali relativi ai due canali stereoscopici erano trasmessi

Fig. 9 - La parte trasmittente dello "stereoscope" di Baird è rappresentato sulla sinistra, mentre la parte ricevente è sulla destra. Il disco scandisce due immagini distinte, uno per ciascun occhio.

alternativamente nel tempo grazie alla disposizione dei fori dello speciale disco di Nipkow utilizzato.

La prima trasmissione televisiva non sperimentale è del 1953, a Los Angeles. Adottava l'anaglifia, utilizzando film 3D convertiti in bianco-nero; successivamente, a partire dal 1981, furono elaborati opportunamente e trasmessi anche film a colori.

L'uso dell'anaglifia per la diffusione televisiva non è esente da problemi.

Non è possibile riprodurre correttamente tutta la gamma dei colori a causa delle operazioni di filtraggio effettuate per separare le componenti di colore rosso di una delle due immagini e le componenti verde-blu (ciano) dell'altra immagine.

Le due immagini così filtrate sono trasportate da un unico canale (l'immagine trasmessa è la loro somma) e sono infine separate e destinate ai relativi occhi grazie ai filtri costituiti dalle lenti degli occhiali. Per ridurre quindi la presenza di diavidia (ovvero la mutua interferenza che causa l'effetto *ghost*) è opportuno che i filtri (le lenti) corrispondano il più possibile ai filtri usati in fase di codifica e alle caratteristiche di emissione dei fosfori televisivi.

I problemi maggiori però, dal punto di vista della qualità finale percepita, sono legati al sistema di codifica utilizzato per la diffusione.

Nel caso di diffusione analogica si utilizzano i sistemi di codifica compositi NTSC (in USA o Giappone) o PAL (in Europa). Entrambi i due sistemi ricavano dalle tre informazioni di colore (RGB, rosso, verde e blu) altri tre segnali: uno di luminanza (che consente la compatibilità con i televisori bianco/nero) e due segnali differenza di colore.

Queste due componenti vengono fortemente limitati in banda prima di venir multiplati (mediante modulazione della sottoportante di colore) con la luminanza. La minor fedeltà di riproduzione del colore rispetto alla luminanza è in genere accettabile perchè il sistema psicovisivo umano è sensibile soprattutto alla informazione di luminanza (a livello fisiologico vi sono due tipi di recettori retinici separati, bastoncelli e coni).

In anaglifia, però, i segnali di crominanza assumono un ruolo importante: ad essi è affidato non solo l'informazione di colore, ma anche quella relativa alla differenza (anche in luminanza) fra le due immagini, diretta ai due occhi. Pertanto un segnale composito (NTSC o PAL), poiché degrada le componenti di crominanza, è poco adatto a contenere immagini anaglife.

Nel caso di distribuzione digitale si utilizzano sistemi basati sulla codifica MPEG-2. Il DVB, *Digital Video Broadcasting*, cioè gli standard alla base della tv digitale da satellite e terrestre, e il DVD, *Digital Versatile Disc*, prevedono che le informazioni di crominanza vengano filtrate e compresse maggiormente rispetto a quelle di luminanza per le stesse motivazioni psicovisive indicate precedentemente, per i sistemi compositi analogici. Opportune scelte dei parametri di codifica e l'uso di fattori di compressione non troppo elevati permettono di limitare la perdità di qualità del segnale anaglifo dovuta alla codifica.

L'effetto Pulfrich è stato applicato per la produzione di programmi televisivi, tra cui *clip* pubblicitarie. Ad esempio la Rai diffuse una serie di cartoni animati prodotti in Giappone nel 1978 (vedere riquadro a lato). La storia, in 51 puntate da 30 minuti ciascuna, è appropriata, poiché il viaggio del protagonista e dei suoi compagni è ricco di movimenti. In genere, comunque, solo circa un terzo di ciascun episodio mostra l'effetto tridimensionale, poiché non tutte le scene possono basarsi su movimenti con velocità e direzione adatte ad ottenere l'effetto.

Infatti, l'uso di questa tecnica è limitata dal fatto che il soggetto o la telecamera, o entrambi, devono muoversi: non vi è percezione stereoscopica nel caso di immagini stazionarie. Tra i vantaggi di questa tecnica: la possibilità di essere distribuibile con i canali televisivi convenzionali, visualizzabile su tutti i tipi di schermo (compresi quelli a proiezione) e la compatibilità per gli utenti non interessati alla stereovisione o privi di occhiali, utenti che possono comunque seguire il programma in modalità bidimensionale.

L'anaglifia, invece, consente l'effetto tridimensionale anche nel caso di scene prive di movimento, ma impone di indossare gli occhiali, indispensabili per la fruizione del programma.

I risultati migliori si ottengono utilizzando due canali separati, uno per ciascun occhio, e con sistemi di riproduzione quali polarizzatori, *shutter* o schermi autostereoscopici.

La separazione dei due canali può essere ottenuta mediante una multiplazione a divisione di tempo (tecnica AI, *Alternate Image*) o creando due flussi sincronizzati trasportati in un multiplex DVD o DVB.

Dal Radiocorriere del 22 ottobre 1979:

17:00 - Remi - Le sue avventure

1° Ben tornato papà

Un programma a cartoni animati 3D dal Romanzo Senza Famiglia di Ettore Malot - Animazioni di Akio Sugino - Regia di Yutaka Fujioka - Distr. Tokyo Movie Shinsha Co. Ltd.

Comincia un lungo racconto (51 puntate quotidiane, esclusi il sabato e la domenica) a cartoni animati di produzione giapponese, tratto dal romanzo "Senza famiglia", dello scrittore francese Ettore Malot (1839-1907). Il libro pubblicato nel 1878, venne premiato dall'Accademia di Francia ed ebbe un gran numero di edizioni, venendo ben presto annoverato fra i classici della letteratura infantile. E' la storia di un trovatello che, in compagnia di un vecchio violinista, tre cani ammaestrati e una scimmietta, gira per i paesi della Francia dando spettacoli. Il racconto è pieno di emozioni, avventure e colpi di scena.

Grazie allo sviluppo di schede video e software queste possibilità sono da tempo disponibili per l'uso mediante PC. Più recentemente è stata proposta anche per uso domestico, utilizzando lettori DVD (figura 10).

Fig. 10 - Il processore SENSIO™3D è stato messo in vendita in USA e Canada (formati video a 29,97 Hz interlacciato) nel settembre 2003 al prezzo di 2995 $ comprensivo di due paia di occhiali LCD controllati per mezzo di raggi infrarossi (paia di occhiali addizionali a 57,50 $), è compatibile con i lettori DVD in grado di interfacciarsi con un proiettore. Adotta la tecnica AI (Alternate Image), le immagini destinate ai due occhi (sinistro, destro) corrispondono ai due semiquadri del segnale televisivo (www.sensio.tv).

Nel caso di uso di due flussi separati è assicurata la compatibilità con la normale visione mono (basta visualizzare uno solo dei canali). Nel caso della diffusione televisiva, occorre però definire la modalità di codifica e trasmissione dei due flussi, utilizzare decodificatori in grado di operare contemporaneamente sui due flussi e sistemi di visualizzazione adatti.

I recenti sviluppi tecnologici nel campo dei sistemi televisivi digitali (DVD e DVB), dei display (oggetto della scheda "display a cristalli liquidi autostereoscopici" pubblicata in questo stesso numero di Elettronica e Telecomunicazioni) e delle tecniche di produzione (sistemi di modellizzazione e grafica tridimensionale) rendono possibile in un prossimo futuro il superamento di molti dei limiti che finora hanno impedito lo sviluppo della televisione stereoscopica.

Bibliografia

Il web è ricchissimo di siti dedicati stereoscopia, è sufficiente effettuare la ricerca del termine *stereoscopic* su un motore di ricerca per individuare alcuni centinaia di migliaia di *link*.

Sulla storia della stereoscopia, ad esempio, in italiano:

Gabriele Chiesa, "Stereofotografi italiani, Collezioni di stereofotografia", www.gri.it/storia/stereoita.htm

e in inglese:

Macleay Museum's Historic Photograph Collection, Australia, "Virtual Empire", www.usyd.edu.au/su/macleay/01VE/vEa1/VEa1b.html

sulle varie tecniche utilizzate per il cinema e la tv:

Dimension 3d, www.d3.com

per l'effetto Pulfrich:

"Pulfrich Effect", www.siu.edu/~pulfrich/

per l'anaglifia e l'effetto *ghost*:

info.curtin.edu.au/~iwoodsa/

Realizzazione del cortometraggio stereoscopico "Le cartoline di Francesca"

Andrea **Falletto**

Rai
Centro Ricerche e
Innovazione Tecnologica
Torino

Sommario
L'esperienza dal punto di vista tecnico nella realizzazione sperimentale di un breve video stereoscopico, realizzato in collaborazione dal Centro di Produzione Rai di Torino e dal Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica. Il cortometraggio, della durata di sei minuti, è costituito da immagini di Torino e del Piemonte.

1. Introduzione

A Torino, nella cornice di Piazza San Carlo si è tenuta il 23 maggio la seconda edizione di "Sapore di Piemonte", che ha attratto nel suo complesso quasi 35000 persone.

Molto visitata è stata la postazione multimediale (figura 1) il cui allestimento scenografico è stato curato dal Centro di Produzione Rai di Torino e comprendeva spezzoni di programmi prodotti a Torino, alcuni costumi risalenti alla nascita della televisione (figura 2) e una postazione per i più piccoli allestita dai curatori del programma "La melevisione". Le dimostrazioni di tipo tecnologico sono state curate dal Centro Ricerche: gli stessi ricercatori hanno illustrato le possibilità offerte dalla Televisione Digitale Terrestre (figura 3) e dai nuovi servizi interattivi e sui sistemi di informatizzazione e archiviazione digitale del materiale delle Teche Rai.

Suggestiva è stata la possibilità di assistere ad una proiezione su grande schermo di un cortometraggio televisivo tridimensionale appositamente realizzato grazie alla collaborazione tra il Centro Produzione di Torino, che ha curato l'organizzazione di regia, fotografia e ripresa (squadra e le attrezzature per le riprese) e il Centro Ricerche che ha curato il coordinamento tecnico e messo a disposizione know-how e tecnologia per le riprese e la visualizzazione delle immagini tridimensionali.

Fig. 1 - Il padiglione allestito in Piazza San Carlo per ospitare la postazione multimediale curata dalla Rai, Centro di Produzione di Torino e Centro Ricerche

Fig. 2 - Presentazione di spezzoni di programmi prodotti dalla sede Rai di Torino e di alcuni costumi risalenti alla nascita della televisione.

2. "Le cartoline di Francesca"

Il cortometraggio, regia di Enza Carpignano, della durata di circa sei minuti, è stato appositamente realizzato per fornire immagini legate al Piemonte e quindi si compone di una serie di inquadrature di monumenti e piazze, soprattutto di Torino. La presenza di una figura femminile "Francesca" è il “filo conduttore” durante il percorso (figura 4).

Fig. 3 - In primo piano la Televisione Digitale Terrestre e le possibilità offerte dai nuovi servizi interattivi.

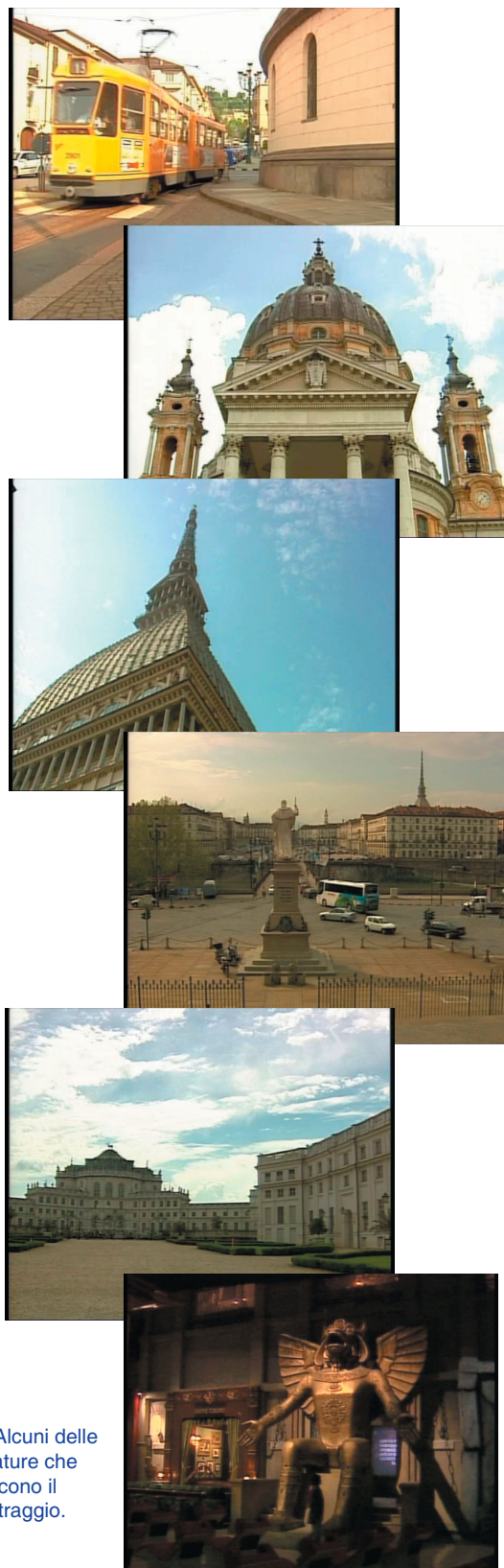
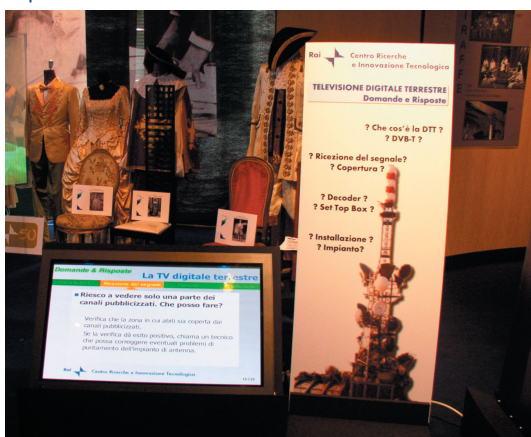



Fig. 4 - Alcuni delle inquadrature che costituiscono il cortometraggio.

Questo esperimento di produzione, ha consentito al Centro Ricerche di arricchire la propria esperienza tecnica relativa alla televisione stereoscopica, che rappresenta uno dei temi su cui svolge un'attività di monitoraggio e sperimentazione.

3. L'esperimento di televisione stereoscopica

3.1 La visione stereoscopica

La visione stereoscopica è basata sulla capacità del cervello di elaborare le immagini bidimensionali provenienti dagli occhi, per ricavare il senso della profondità. Ad ogni punto della retina di un occhio, corrisponde un punto sulla retina dell'altro. Questi punti vengono detti "punti retinici corrispondenti" e sono accoppiati, a livello di terminazioni nervose, per comune direzione visiva.

Questo ci permette di vedere un unico oggetto perché le immagini che si formano sulle due retine vengono fuse. Le differenze dovute al diverso punto di visione dei due occhi, vengono sfruttate dal cervello per elaborare il senso della tridimensionalità della scena.

Riuscendo a mostrare due immagini bidimensionali leggermente diverse ai due occhi, otterremo la sensazione di vedere una scena tridimensionale.

3.2 Il sistema di ripresa

Le riprese sono state realizzate con due *camcorder* (figura 4). I *time code* delle macchine sono stati sincronizzati per facilitare l'allineamento delle scene in fase di montaggio.

La registrazione delle riprese è stata effettuata su nastro Mini-DV (25 Mbit/s),

Fig. 5 - Per effettuare le riprese si sono utilizzate due camcorder dello stesso tipo abbinate mediante una staffa realizzata appositamente presso il Centro Ricerche.

successivamente il materiale è stato riversato su supporto IMX per compatibilità con la sala di montaggio del Centro di Produzione.

Particolare cura è stata posta nella taratura interna delle telecamere, per ottenere due riprese con parametri simili dal punto di vista di livello del nero, luminanza, crominanza, gamma ecc.

Per controllare l'efficacia dell'effetto 3D, si è dimostrato importante verificare le in-

Fig. 6 - Il monitor autostereoscopico utilizzato durante le riprese (modello DTI 2018 XLQ della Dymension Technology)

quadrature mediante un monitor autostereoscopico (figura 6). L'immediato riscontro dei piani di profondità del panorama 3D è utile per scegliere le impostazioni della convergenza e della profondità di campo.

La realizzazione di un filmato tridimensionale, richiede grande flessibilità sia al regista che alla troupe, in quanto oltre ai normali parametri di ripresa, diaframma, fuoco, zoom, profondità di campo ecc. si devono operare una serie di scelte per ottenere il risultato tridimensionale desiderato. Tramite la scelta della fotografia si può dare ad un'immagine un certo carattere, (immagine più calda, più fredda, più morbida ecc.), anche il panorama tridimensionale viene scelto in fase di ripresa. Ci siamo infatti resi conto che non esiste una impostazione "standard", in quanto ogni scena è diversa e devono essere operate delle scelte. Anche i nostri occhi, infatti, si adattano continuamente alla scena che osserviamo.

3.3 La convergenza

Gli obiettivi devono essere convergenti, in modo da avere una sovrapposizione dei campi ripresi dalle due telecamere. L'intersezione dell'asse degli obiettivi nello spazio è detta punto di convergenza. Gli oggetti all'altezza del punto di convergenza, saranno visti, durante la proiezione, sul piano della superficie dello schermo. Pertanto, tramite il controllo della convergenza, è possibile attribuire la posizione degli oggetti nella scena, realizzando una ripresa realistica oppure creativa. Volendo dare l'impressione che un oggetto "esca" dallo schermo e si posizioni tra esso e gli spettatori, si pone il punto di convergenza delle telecamere dietro all'oggetto in questione.

3.4 La Profondità di campo 3D

Impostando la convergenza in un punto, gli oggetti più vicini e più lontani dal punto in esame, appaiono sdoppiati. La profondità di campo utile, nella quale non si vede questo sdoppiamento è molto ridotta ed

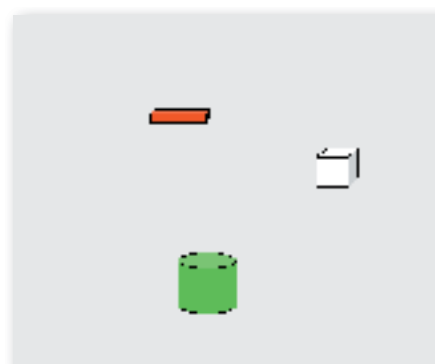
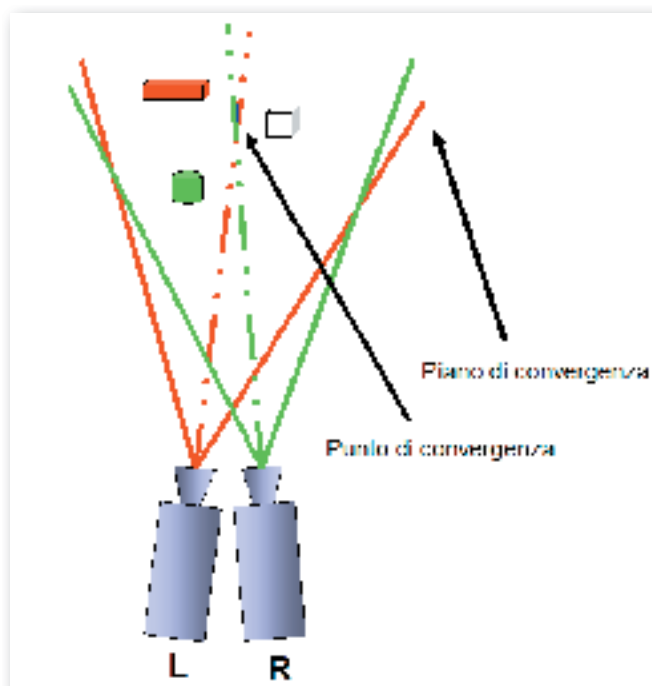



Fig. 7 - Il punto di convergenza
- gli oggetti su piano di convergenza vengono visti sul piano dello schermo,
- gli oggetti dietro al piano di convergenza vengono visti più indietro rispetto al piano dello schermo
- gli oggetti anteriori al piano di convergenza, "escono" dallo schermo e vengono visti, durante la proiezione, come fluttuanti tra lo schermo e gli spettatori

è dipendente dalla distanza del punto di convergenza. Guardando un oggetto vicino, ad esempio a circa 30 centimetri, la profondità di campo, senza che appaia lo sdoppiamento è meno di un centimetro. Questo significa che guardando un punto a 30 centimetri da noi, tutto quello che è presente nella scena da circa 30,5 centimetri in poi, viene visto sdoppiato. All'aumentare della distanza, anche la profondità del campo tridimensionale aumenta.

Quando la combinazione tra convergenza, distanza degli obiettivi e distanza degli oggetti dalle telecamere non è corretta, si ottengono immagini in cui ci sono molti oggetti sdoppiati.

Nella visione ad occhio nudo, il fenomeno è accettato: guardando, ad esempio, lo schermo del computer, il fatto che lo sfondo dietro allo schermo sia sdoppiato e fuori fuoco è perfettamente naturale. Nella televisione stereoscopica gli oggetti sdoppiati risultano molto fastidiosi e attribuiscono un carattere artificiale e innaturale alla scena. Per ovviare a questo fenomeno, è necessario evitare le inquadrature che richiedano una profondità di campo 3D superiore a quella possibile con un dato punto di convergenza (figura 7).

3.5 La scelta del posizionamento dei piani

Il regista di un filmato tridimensionale può scegliere se sfruttare il mezzo in modo descrittivo o se cercare di esaltare l'effetto 3D per "stupire" lo spettatore.

Potrà scegliere un panorama 3D realistico oppure l'effetto molto utilizzato nei film 3D che prevede l'uscita improvvisa dallo schermo di oggetti che danno l'impressione di arrivare fino agli spettatori seduti nelle prime file.

Ci sono molti elementi che orientano lo spettatore nella valutazione della profondità della scena. Alcuni sono unicamente mono-oculari. Ad esempio, quando un oggetto di dimensioni note appare piccolo, l'osservatore tende a considerarlo lontano. Inoltre se un oggetto copre un altro nel campo visivo, viene considerato più vicino. Lo spettatore che guarda un filmato in 3D, conosce perfettamente la posizione dello schermo, per quanto il film sia coinvolgente, tale percezione rimane. Se vi sono oggetti che escono dallo schermo con troppa frequenza, si perde il senso di vedere un'immagine reale, e si ha l'impressione di assistere ad una sequenza di effetti speciali.

Nel video "Le cartoline di Francesca" è stato scelto un approccio realistico, per dare l'impressione allo spettatore di vedere un ritratto di Torino, come se si fosse sul posto. In una sola inquadratura, è stato scelto di porre il punto di convergenza in modo di avere, durante una panoramica in piazza Castello, una fontana che esca dallo schermo e si posizioni a metà tra esso e gli spettatori (figura 8). L'esperienza ha dimostrato che l'utilizzo mirato di scene di questo genere, arricchisce il filmato.

Fig. 8 - Una inquadratura in cui si lo spettatore percepisce un particolare (la fontana) posizionato tra sé e lo schermo.

3.6 Il montaggio

Il montaggio è stato effettuato presso il Centro di Produzione (è stato utilizzato un sistema Avid).

Esperienze precedenti presso il Centro Ricerche avevano dimostrato che non vi sono grandi limitazioni nell'uso di effetti video o transizioni, la post produzione in 3D non presenta quindi particolari difficoltà rispetto a quella tradizionale.

E' però necessario replicare esattamente il montaggio sul video destro e sul sinistro, compresa la durata delle transizioni e i parametri degli eventuali effetti. Le differenze nella sincronizzazione dei tagli o delle dissolvenze risultano estremamente disturbanti.

L'unica norma da tenere presente durante il montaggio è relativa ai piani di profondità attribuiti alle scene mediante la scelta del punto di convergenza: ad ogni cambio inquadratura, se ci sono piani di profondità diversi, gli occhi devono eseguire un accomodamento. Il processo richiede qualche istante e l'attivazione dei muscoli oculari. Se il montaggio fa uso di stacchi molto veloci, la visione risulta critica e provoca affaticamento.

Prima di effettuare il montaggio, è stata fatta una visione di tutto il materiale girato, in modo da scartare le scene in cui l'effetto 3D non era gradevole o era scarsamente significativo.

Oltre allo sdoppiamento legato alla profondità di campo 3D, esiste lo sdoppiamento dovuto al sistema di visualizzazione, detto *ghost*.

E' presente in quasi tutti i sistemi di visualizzazione 3D, sia nel caso dell'occhiale *anaglifo* (lente rossa e lente blu o verde) sia negli occhiali *shutter* (occhiali elettronici con LCD) sia nei monitor *auto-stereoscopici*, sia, come nel caso descritto, nella soluzione in cui si utilizzano le lenti polarizzate.

Tutti i sistemi sopra elencati, si basano sul un filtraggio della luce, nel caso del sistema in esame, i filtri installati sui proiettori hanno polarizzazione analoga a quelli sugli occhiali.

Ad occhio nudo sullo schermo le immagini appaiono sovrapposte, tuttavia sono state proiettate con piani di polarizzazione diversi, grazie ai filtri presenti sui proiettori. Il filtro destro degli occhiali, è trasparente all'immagine destra e oscura, filtrandola perché polarizzata diversamente, l'immagine sinistra e viceversa.

Il filtraggio, però, non è perfetto. Questo implica che ogni occhio veda un residuo dell'immagine destinata all'altro.

In molti casi l'immagine residua passa inosservata, ma ci sono alcune situazioni in cui, invece, è molto evidente. Un esempio potrebbe essere un oggetto verticale in controluce su uno sfondo chiaro, come un campanile o una guglia. L'effetto *ghost*, farà si che l'oggetto appaia sdoppiato. E' necessario tener presente anche questo fenomeno durante il montaggio e la scelta delle scene, evitando le inquadrature critiche per il *ghost*.

3.7 La proiezione

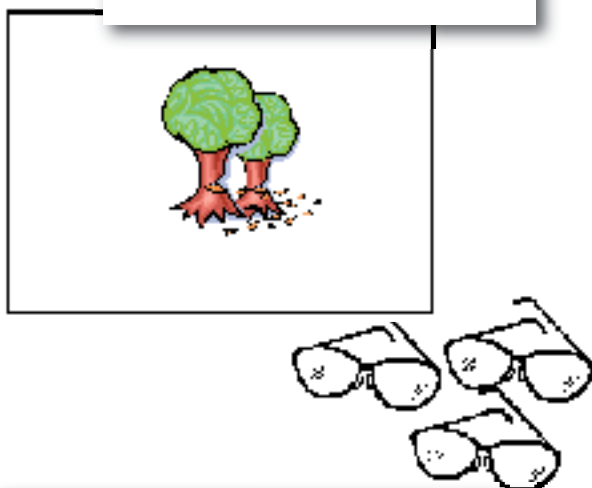
Anche la proiezione (figura 9) deve essere estremamente curata per ottenere un risultato ottimale. Nel caso in esame sono stati utilizzati due proiettori da 2000 ANSI lumen con filtri polarizzatori regolabili.

L'allineamento è fondamentale perché il cervello tende a compensare, entro certi

limiti, un allineamento non perfetto. Questo processo, completamente inconscio, provoca affaticamento nello spettatore dopo pochi minuti di visione.

Un metodo che si è rivelato efficace è quello di proiettare un *pattern* identico con i due proiettori e poi allinearli in modo che tutti i punti dei *pattern* coincidano, in tutta l'area dello schermo.

Lo schermo non deve cambiare la polarizzazione della luce, è quindi necessario utilizzare uno schermo argentato, come nel caso in esame (figura 10), oppure un particolare tipo di schermo per retroproiezione.

La proiezione deve avvenire su un supporto non depolarizzante, come uno schermo argentato o un particolare tipo di schermo a retro-proiezione

Occhiali con filtri polarizzatori. I filtri sono orientati in modo analogo a quelli installati sui proiettori. La lente destra filtra, oscurandola, l'immagine proiettata dal proiettore di sinistra ed è trasparente per l'immagine destra e viceversa.

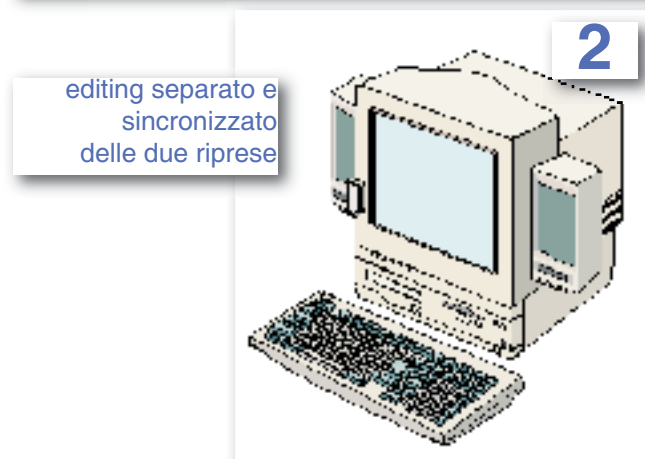
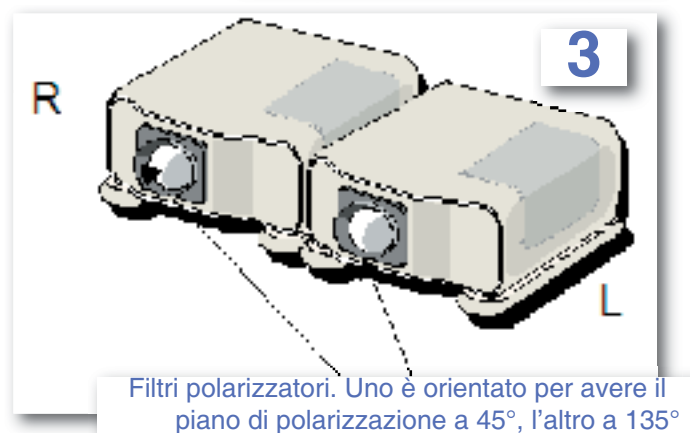



Fig. 9 - Dopo le fasi della ripresa e dell'editing, importantissima, per garantire una buona qualità percepita, è la fase della proiezione.

3.8 Dal punto di vista della Regia

La ripresa tridimensionale richiede maggiore attenzione nella composizione delle inquadrature, perché l'effetto 3D deve essere scelto in fase di ripresa, anche se è possibile effettuare piccole correzioni in fase di postproduzione.

Per un regista abituato alle riprese convenzionali, è necessario un cambio di prospettiva. Durante le riprese la regista Enza Carpignano ha manifestato grande interesse per la tecnica 3D, perché permette di inserire un nuovo elemento espressivo nelle immagini, che si aggiunge a quelli tradizionali come la fotografia, la scelta dei movimenti di camera ecc.

Bibliografia:

1. Randal Kleyser, “DIRECTING IN 3-D” Article for the Director's Guild of America Magazine", February 24, 1998, www.directorsnet.com
2. Tiziana Canziani, Sonela Spasse, “Visone stereoscopica”, www.univ.trieste.it

Fig.10 - Il pubblico, munito di occhiali con filtri polarizzatori, assiste alla proiezione del cortometraggio sullo schermo argentato.

Un display autostereoscopico con tecnica parallax-barrier spazio-tempo

Bruno **Sacco**
Franco **Casalegno**

Rai
Centro Ricerche e
Innovazione Tecnologica
Torino

1. Introduzione

Come già descritto in altri articoli pubblicati in questo numero di Elettronica e Telecomunicazioni, lo scopo di convogliare le immagini sinistra e destra ai rispettivi occhi può venire raggiunto con svariate tecniche. Il problema comune è quello di "multiplare" la doppia informazione sulla superficie disponibile. Potremmo quindi classificare i vari metodi a seconda del tipo di multiplazione:

- **"nella lunghezza d'onda"**: per mezzo di occhiali filtranti colorati. Il difetto principale è la perdita della policromaticità dell'immagine.
- **"nel tempo"**: uno schermo video o proiettore emette alternativamente immagini sinistre e destre verso opportuni occhiali sincronizzati ad otturatore. Difetto: necessità (e costo) degli occhiali, che devono essere "attivi".
- **"nello spazio"**: una barriera a settori opachi o uno speciale schermo a microprismi invia verso ciascun'occhio solo una porzione dell'immagine. Difetto: sottosfruttamento della risoluzione dello schermo: quest'ultimo deve infatti contenere almeno il doppio dell'informazione (solitamente molto di più).
- **"nella polarizzazione"**: uno schermo video o proiettore emette immagini sinistre e destre utilizzando luce differentemente polarizzata. Difetto: necessità degli occhiali.

2. Una multiplazione "spazio-tempo"

Il prototipo realizzato presso il Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica (CRIT) della Rai sfrutta una multiplazione mista *spazio-tempo* per ottenere la visione stereoscopica ad occhio nudo, senza però penalizzare la risoluzione dello schermo, come avviene nelle tecniche a multiplazione di spazio.

Come nei metodi *parallax-barrier*, descritti nella scheda "Display a cristalli liquidi autostereoscopici", una griglia di settori alternati, opaco/trasparente, costituisce

Sommario
Presso il Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica è stato realizzato un prototipo di display in cui un pannello LCD applicato ad uno schermo consente la visione autostereoscopica in base alla tecnica parallax-barrier e alla multiplazione spazio-tempo.

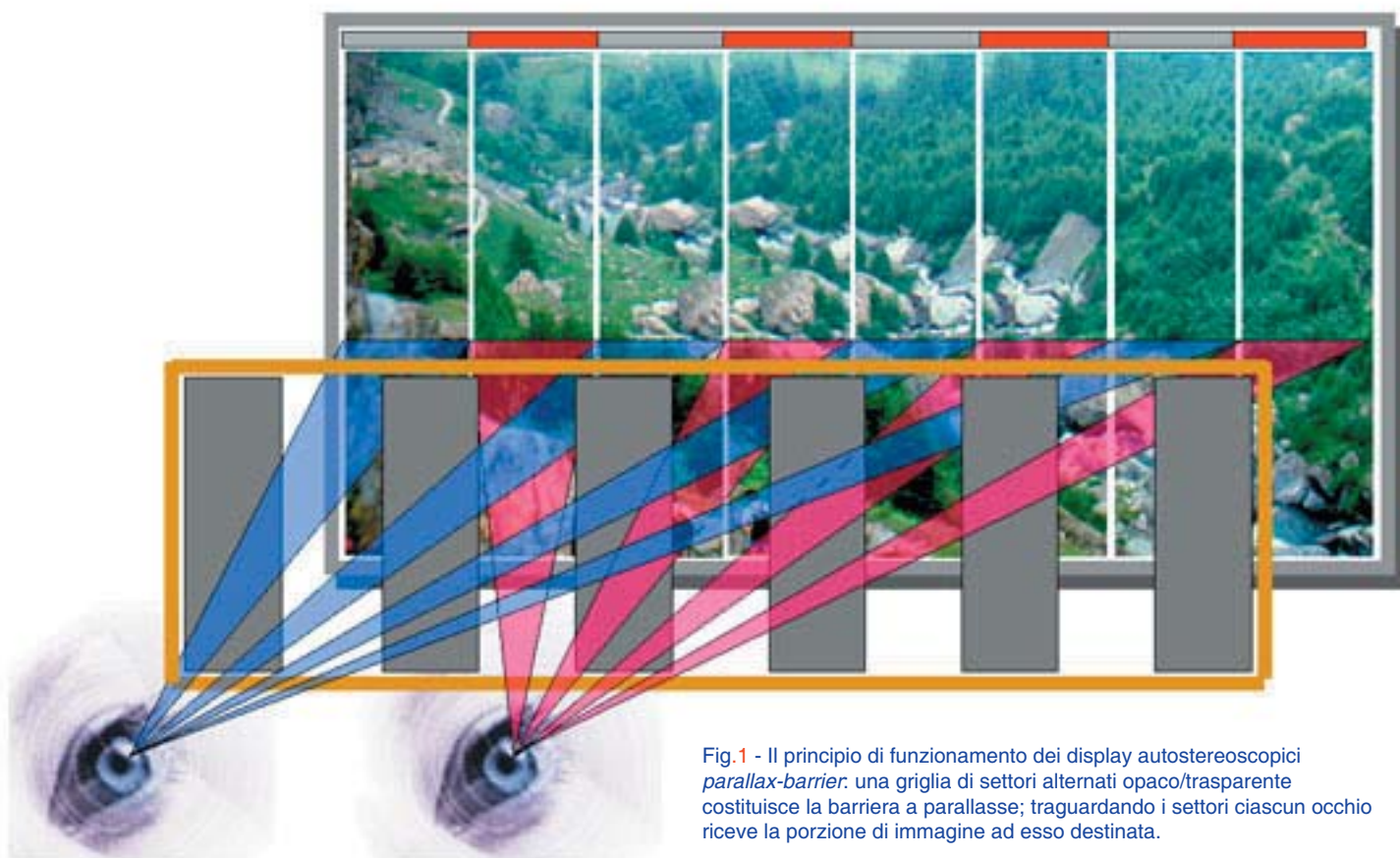



Fig.1 - Il principio di funzionamento dei display autostereoscopici *parallax-barrier*: una griglia di settori alternati opaco/trasparente costituisce la barriera a parallasse; traguardando i settori ciascun occhio riceve la porzione di immagine ad esso destinata.

la barriera a parallasse; traguardando i settori ciascun occhio riceve la porzione di immagine ad esso destinata (figura 1). Per evitare perdita di informazione e fare al contempo scomparire la fastidiosa griglia, la barriera è stata realizzata in tecnologia LCD, e si commutano nel tempo, alternativamente, la griglia opaca e la sua complementare. Ovviamente anche l'immagine visualizzata sullo schermo posteriore, sincronizzata, presenta un'alternanza nel tempo di settori alterni sinistro/destro.

In questo modo, in tempi successivi, la totalità di ciascuna delle due immagini è presentata agli occhi dell'osservatore, senza pregiudicare quindi la risoluzione. L'alternanza deve comunque essere realizzata a frequenza sufficientemente elevata (100Hz o superiore).

3. Il prototipo Rai-CRIT

Il display è dunque costituito da uno schermo convenzionale (LCD o CRT), davanti a cui è fissato un pannello LCD trasparente, sincronizzato, che realizza la barriera (figura 2).

Il pannello LCD trasparente è molto semplice dal punto di vista delle metallizzazioni su vetro: nella sua versione base è richiesto un numero limitato (da qualche decina a poche centinaia, a seconda della realizzazione) di strisce verticali, collegate insieme alternativamente: tutte le pari insieme, tutte le dispari insieme. Il cristallo liquido deve essere caratterizzato da elevata velocità di commutazione, del tipo usato per otturatori (*shutter*). Un siffatto pannello è tecnologicamente

banale, ma per realizzare un prototipo si sono incontrate serie difficoltà: infatti i produttori di pannelli LCD non realizzano piccole serie, ma richiedono ordini minimi di molte migliaia di pezzi.

La velocità di commutazione del pannello LCD inizialmente adottato non è risultata sufficientemente elevata. Si è dunque tentato di utilizzare un monitor LCD da computer, dopo averne asportato parte della carrozzeria e tutta la sezione di retroilluminazione. Essendo praticamente impossibile interfacciarsi al "vetro" (i circuiti integrati driver sono microscopici e saldati direttamente su tracce metallizzate sul vetro stesso), si è deciso di generare un segnale video artificiale, a standard VGA, con cui l'ex monitor LCD riproducesse, a quadri alterni, le barre nere/trasparenti richieste. Il metodo avrebbe funzionato, ma si è scoperto alla prova dei fatti che l'ex monitor LCD gestiva l'aggiornamento dei valori dei pixel in modo del tutto asincrono con il segnale video che lo pilota. Impossibile dunque sincronizzare il pannello (ex monitor LCD) al monitor retrostante.

Infine si è scelta una strada del tutto diversa: si è acquistato un kit per visione 3D della ditta NuVision [1] costituito da un pannello trasparente in tecnologia LCD (di fatto un polarizzatore circolare che, a comando elettrico, diventa sinistrorso o destrorso) collegabile in parallelo al monitor principale (figura 3). Al pannello, che va sistemato davanti al monitor principale, sono state fissate sul lato anteriore una sequenza di striscioline di polarizzatore circolare alternativamente sinistrorso e destrorso. Come è facile intuire, in questo modo si ottiene un pannello che risulta a strisce alternativamente opache (nere) e trasparenti. Su comando elettrico, proveniente dall'alternanza di quadro del monitor, la situazione si inverte.

Fig. 2 - Il prototipo di display autostereoscopico realizzato in Rai-CRIT

Fig. 3 - Il kit 3D NuVision 17SX, che è stato modificato per realizzare il prototipo di Parallax-Barrier "spazio-tempo" Il kit comprende alcuni occhiali, passivi, a polarizzazione circolare, sinistrorsa per un occhio e destrorsa per l'altro Nel prototipo Rai-CRIT non è più necessario l'uso degli occhiali polarizzati per la visione 3D.

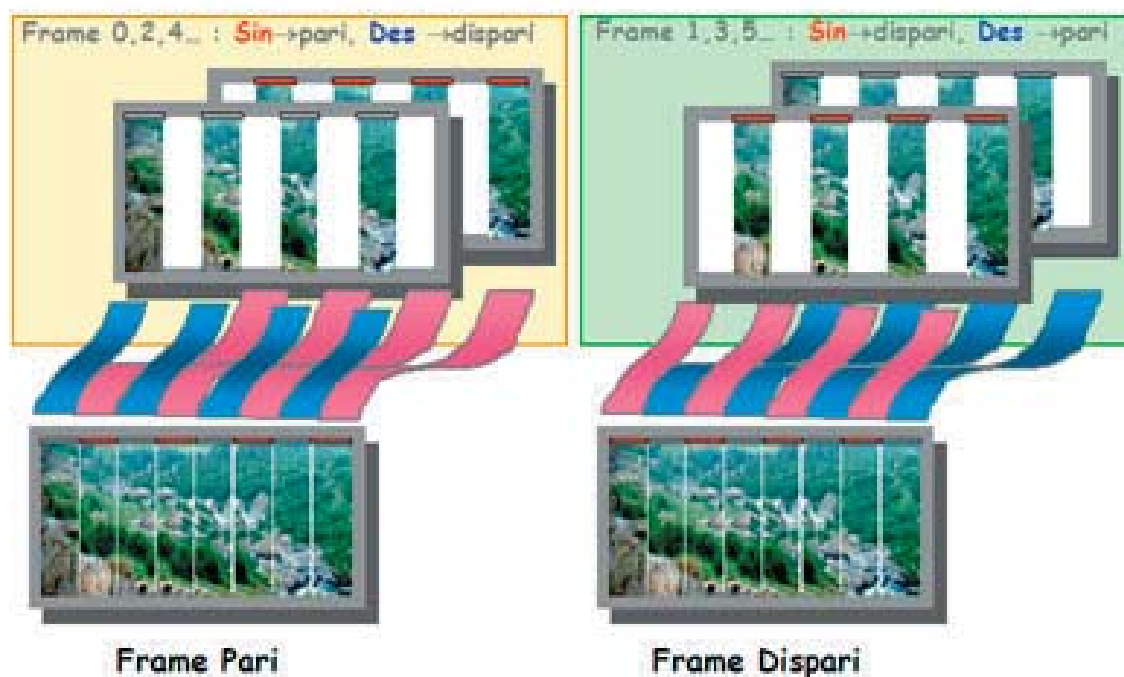



Fig. 4 - Il procedimento di creazione delle immagini per il display Parallax-Barrier "spazio-tempo". Le immagini per l'alternanza frame, pari e dispari, si ottengono interlacciando per fettine verticali parallele le due immagini originali sinistra/destra (frame pari) e destra/sinistra (frame dispari).

Si sono poi preparate, con un programma scritto in LabView, le due immagini da visualizzare: anche queste sono ottenute (figura 4) interlacciando per fettine verticali parallele le due immagini originali sinistra/destra (frame pari) e destra/sinistra (frame dispari). E' comunque in sviluppo un dispositivo hardware che opera tale elaborazione in tempo reale, partendo da due segnali video provenienti da PC o da due segnali video PAL.

4. Conclusione

Tramite il prototipo realizzato in Rai-CRIT si è dimostrato che la tecnica proposta è valida per la visualizzazione ad occhio nudo di immagini stereoscopiche, sebbene, come in tutti i metodi *parallax-barrier*, l'angolo di visione ottimale risulti piuttosto stretto. Per contro la tecnologia è estremamente semplice ed economica: per una realizzazione industriale ovviamente si potrà usare un LCD (veloce) monocromatico a barre alternate, molto più economico della realizzazione prototipale. E' comunque richiesto un liquido molto veloce (del tipo usato per *shutter*). E' possibile con gran facilità passare da visualizzazione 2D a 3D in qualsiasi momento, e in qualsiasi zona dello schermo.

Ringraziamenti

Si ringrazia la l'Ing. Fabio Ducly e la TECDIS di Chatillon, Aosta (www.tecdis.com) per le informazioni e discussioni tecniche.

Riferimenti Bibliografici

1. NuVision, MacNaughton, Inc., 1815 NW 169th Place, Suite 3060, Beaverton, OR 97006, www.nuvision3d.com

Televisione stereoscopica
le basi della tecnica stereoscopica

Giuseppe **Colace** *
Politecnico di Torino

Mario **Muratori**
Rai
Centro Ricerche e
Innovazione Tecnologica
Torino

1. Introduzione

Per Pitagora e per il suo seguace Euclide, l'occhio emetteva un fascio di raggi che nello spazio urtavano gli oggetti: l'urto tra il raggio e la realtà suscitava la sensazione della visione.

La teoria rivale proposta da Democrito, e poi resa lirica da Lucrezio, assume invece che gli oggetti inviino continuamente nello spazio ad essi circostante le immagini di se medesimi: queste immagini entrano nella pupilla dell'occhio e così si rivelano all'uomo.

Leonardo fa dell'occhio il punto centrale della sua indagine sulla realtà: per lui esiste solo un'infinita pioggia di raggi provenienti da ogni direzione.

Keplero comprende che l'immagine otticamente invertita dal cristallino viene raddrizzata dall'intelletto.

Molti altri studiosi hanno cercato di comprendere il funzionamento degli organi preposti alla visione e la struttura del processo della visione. Dietro ogni ipotesi c'è sempre una ben precisa ideologia, una serie di modelli interpretativi. Ogni ipotesi ha tentato di spiegare la capacità dell'occhio dell'uomo di cogliere il rilievo degli oggetti, cioè il loro aspetto tridimensionale.

La percezione della profondità dell'ambiente che ci circonda dipende da diversi fattori, tra cui, importantissima, la visione binoculare, cioè tramite i due occhi.

* L'articolo sintetizza parte della tesi di laurea in ingegneria dell'informazione "Geometria della visione, problematiche di ripresa e visualizzazione di sequenze stereoscopiche", svolta da Giuseppe Colace presso il Centro Ricerche Rai. Relatore ing. Gianfranco Barbieri, co-relatore ing. Mario Muratori.

Sommario
Si illustrano le caratteristiche del sistema deputato alla visione nell'uomo maggiormente utili per comprendere il funzionamento della tecnica stereoscopica. Di questa si approfondiscono i principi di funzionamento con l'aiuto di un modello geometrico. Si introduce quindi un modello geometrico relativo alla fase di visione del prodotto stereoscopico.

L'occhio è un organo sofisticato e indispensabile al processo della visione, tuttavia il risultato è anche frutto di un'elaborazione complessa che viene in buona parte svolta nel cervello. Ci si rende facilmente conto di ciò qualora si consideri che, nonostante quando si osserva un oggetto se ne ricavino due immagini, una per ciascun occhio, esso viene percepito come un unico oggetto.

Poiché gli occhi sono posizionati sul viso ad una certa distanza l'uno dall'altro, ogni occhio vede il medesimo oggetto da un'angolazione prospettica leggermente diversa. A questo punto interviene il cervello che sovrappone le due immagini risultanti dalla visione dei due occhi e le compone in una sola, fondendo le parti identiche ed elaborando le differenze per ricavarne ulteriori informazioni, in particolare quelle relative alla profondità.

Il primo processo si chiama "fusione" e consiste, come detto, nella sovrapposizione delle due immagini provenienti dai due occhi. Tale funzione è indispensabile per il riconoscimento degli oggetti costituenti il mondo esterno e quindi per la formazione della sua conoscenza.

Il secondo processo è chiamato "stereopsi". Consiste nell'analisi delle differenze esistenti tra le immagini provenienti dai due occhi a causa del parallasse, e permette la percezione della profondità che, oltre a fornire ulteriori dati per il riconoscimento degli stessi, fornisce informazioni utili al movimento dell'osservatore.

Avere la visione tridimensionale di un oggetto vuol dire considerare non solo la sua larghezza e la sua altezza, ma anche la sua profondità, cioè la distanza alla quale è situato l'oggetto nello spazio in relazione alla nostra posizione. Il termine "stereoscopia" infatti, significa proprio "visione spaziale", in quanto l'etimologia di tale termine risale alle parole greche "*stereo*" che significa "spazio" e "*skopein*" che vuol dire "vedere".

Il fenomeno della visione binoculare fu scoperto dal fisico inglese Charles Wheatstone, inventore nel 1838 dello "stereoscopio", un apparecchio che, grazie ad un sistema di specchi, ricomponeva due immagini raffiguranti lo stesso oggetto rappresentato con un angolo di visuale leggermente diverso, riuscendo così ad ottenere la sensazione di profondità spaziale.

Verso la fine del diciannovesimo secolo, lo stereoscopio, migliorato e adattato all'uso di fotografie, divenne oggetto di moda e di larga diffusione.

Secondo alcuni autori, la produzione di film stereoscopici risale agli inizi del 1900 da parte dei fratelli Lumière; in ogni caso, sicuramente già Baird nel 1920 effettuò i primi esperimenti di televisione stereoscopica utilizzando un disco di Nipkow modificato. Limitazioni di tipo tecnologico ed economico hanno però confinato la stereoscopia a prodotti di ridotta diffusione soprattutto basati su tecniche fotografiche (p.es si ricordi l'azienda ViewMaster attiva nel periodo 1920-1980), o ad applicazioni di nicchia (p.es cartografia, analisi di modelli complessi generati al CAD, ecc.).

La considerazione che l'attuale tecnologia televisiva, soprattutto laddove si appoggia alla tecnologia digitale, permette di ottenere apparati sofisticati e non particolarmente costosi, ha spinto a "rispolverare" la stereoscopia per verificarne la reale fattibilità nel campo televisivo.

2. Elementi di fisiologia della visione

2.1 L'occhio: composizione e principio di funzionamento

L'occhio è l'organo deputato alla vista. Le figure 1 e 2 riportano dei disegni esplicativi della sua composizione.

Esso è composto da un bulbo e da alcuni annessi come i muscoli estrinseci, che servono per effettuare la rotazione del bulbo nella sua sede, e le ghiandole, le vie lacrimali e le palpebre, che servono per la lubrificazione della sclera.

Il bulbo, di forma grossolanamente sferica, è costituito da tre pareti chiamate tonache che, procedendo dall'esterno verso l'interno, sono la sclera, la **coroide** e la **retina**; quest'ultima ospita i recettori della luce.

L'immagine è focalizzata sulla retina dal sistema di lenti composto dai mezzi diottrici - dall'esterno verso l'interno: la **cornea**, l'**umor acqueo**, il **cristallino** ed il **corpo vitreo**. Di questi solo il cristallino ha la possibilità di deformarsi, su sollecitazione dei muscoli intrinseci, per ottenere l'esatta focalizzazione dell'immagine sulla retina.

L'**iride** è un diaframma che possiede nella sua parte centrale una soluzione di continuo circolare, la **pupilla**, avente calibro variabile. In questo modo l'iride regola, in seguito ad un riflesso detto **fotomotore**, l'intensità di luce che raggiunge la retina entro limiti ottimali.

I **fotorecettori** della retina, che si differenziano in **coni** e **bastoncelli**, raccolgono lo stimolo luminoso e lo trasformano in eccitazione nervosa tramite reazioni biochimiche. Questo stimolo viene poi convogliato, tramite il nervo ottico, ai centri corticali deputati alla visione presenti nel cervello.

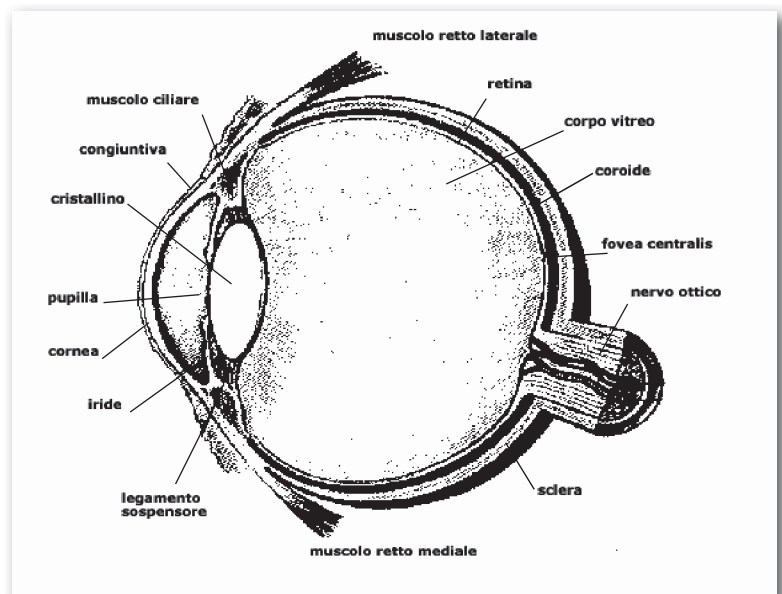
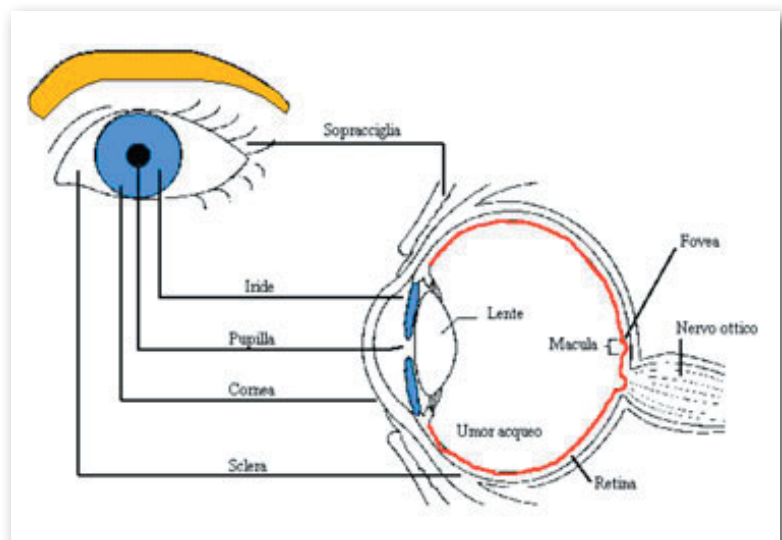



Fig. 1 - Sezione dell'occhio

Fig. 2 - Composizione schematica dell'occhio

2.2 La retina

La retina è composta di vari strati. Il più interno di questi rappresenta il **fondo dell'occhio** (*fundus*) ed è a contatto con il corpo vitreo.

Questa parte, di colore rosso come si vede in figura 3, contiene la **macula lutea**, delimitata da un piccolo anello chiaro brillante, e la **fovea centralis**, o **fovea**, indicata dalla freccia.

Nella retina sono presenti due tipi di recettori: i **bastoncelli** ed i **coni**.

I primi sono distribuiti nelle aree periferiche della retina e sono deputati alla visione notturna ed in bianco e nero, mentre i secondi sono destinati alla visione dettagliata (lettura, oggetti distanti) ed alla percezione dei colori.

La fovea, in particolare, è costituita quasi esclusivamente da coni e, grazie alla elevata densità di recettori, è caratterizzata dalla massima acuità visiva. La sua principale direzione visiva corrisponde al "dritto-davanti".

Fig. 3 - Fotografia di una porzione della retina. La freccia indica la fovea.

2.3 fusione sensoriale

Nonostante l'uomo possieda due occhi, non vede doppio grazie al processo di **fusione (sensoriale)** Nota 1 operato dai centri celebrali preposti alla vista. Tale processo permette il riconoscimento degli oggetti osservati ed è quindi fondamentale per l'apprendimento e, conseguentemente, per la conoscenza.

Nota 1 - La "fusione motoria" contribuisce a mantenere a livello foveale le due immagini grazie al continuo allineamento degli assi oculari dovuto all'azione della muscolatura estrinseca.

L'immagine di ogni punto visibile costituente un oggetto osservato, chiamato **punto oggetto**, viene proiettata sulla retina in una coppia di punti, uno per ciascun occhio, chiamati **punti retinici**.

Quando si fissa su un oggetto, gli assi ottici oculari convergono, intersecandosi in un particolare punto chiamato **di fissazione**. La sua immagine proiettata sulle retine, in particolare sulle fovee, si forma su una coppia di punti retinici, uno per ciascun occhio, dai quali originano stimoli nervosi che il sistema della visione "fonde" in un singolo punto. Per questo motivo tali punti retinici sono chiamati **corrispondenti**; non sono simmetrici da un punto di vista anatomico, ma risultano funzionalmente accoppiati a causa del fenomeno della fusione sensoriale.

Per ogni punto di fissazione esiste una curva, chiamata **oroptero** (dal greco *oros*, limite e *opter*, osservatore), composta da tutti i punti dello spazio reale per i quali si verifica la fusione. Ciò si ottiene poiché le loro immagini proiettate sulle retine si formano su coppie di punti retinici corrispondenti, uno per ciascuna retina.

In altre parole, tutti i punti dello spazio reale giacenti sull'oroptero vengono percepiti come punti singoli.

Siccome per riconoscere gli oggetti osservati è necessario che questi siano percepiti come unici, la corteccia celebrale continuamente governa la direzione di osservazione tramite i movimenti degli occhi, affinché le immagini cadano su punti retinici corrispondenti.

Analizzando la figura 4, si nota che il punto di fissazione *F* proietta la sua immagine sui punti retinici F_s e F_d, giacenti rispettivamente sulla retina sinistra e sulla retina destra.

Siccome i punti retinici associati al punto di fissazione sono punti corrispondenti, questo viene recepito come unico.

Considerando un altro punto giacente sull'oroptero, ad esempio il punto *A*, si nota che esso forma la propria immagine su una coppia di punti retinici corrispondenti, che - rispetto ai precedenti - risultano situati internamente nell'occhio destro e esternamente nell'occhio sinistro. La distanza tra punti retinici, per esempio tra F_s e A_s oppure tra F_d e A_d, si chiama **disparità retinica**.

Grazie all'accoppiamento dei punti retinici corrispondenti, il punto *A* verrà ancora percepito come un unico punto, ma la posizione dei punti retinici A_s e A_d rispetto ai punti retinici corrispondenti al punto *F*, cioè, rispettivamente, F_s e F_d, inducono nell'osservatore la percezione che il punto *A* sia situato a destra di *F*.[Nota 2]

La fusione non avviene solamente per i punti giacenti sull'oroptero, ma anche per quelli che si trovano in una ristretta zona, chiamata **area di Panum**, che si

Fig. 4 - Oroptero e punti retinici corrispondenti

estende sia davanti che dietro di esso, e che ha una forma simile a quella illustrata in figura 5.

Un punto *B* incluso nell'area di Panum viene quindi ancora percepito come unico.

Fig. 5 - Area di Panum

Nota 2 - In realtà, anche se in modo non così preciso, la percezione della direzione visiva è ottenuta anche con un occhio solo: si parla di "direzione visiva oculocentrica". In questo caso il sistema della visione effettua l'analisi della disparità retinica generata, nel solo occhio considerato, dalle immagini dei punti osservati.

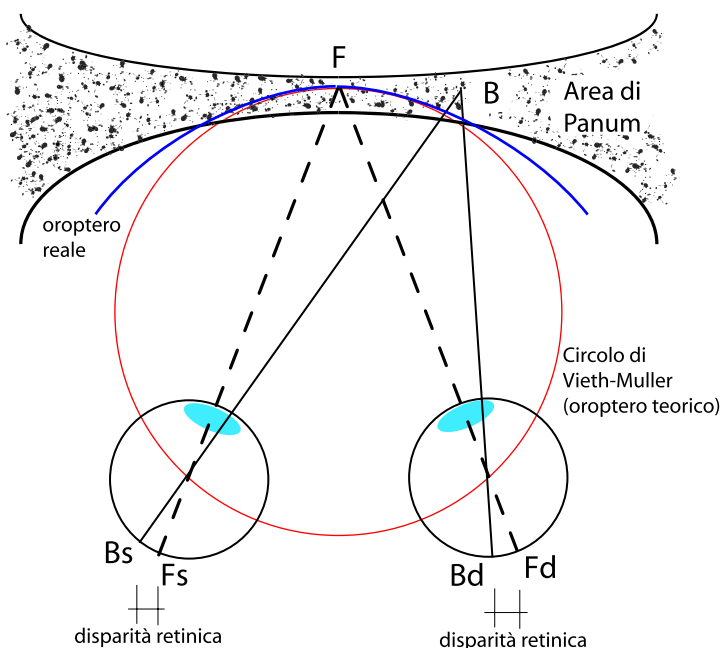
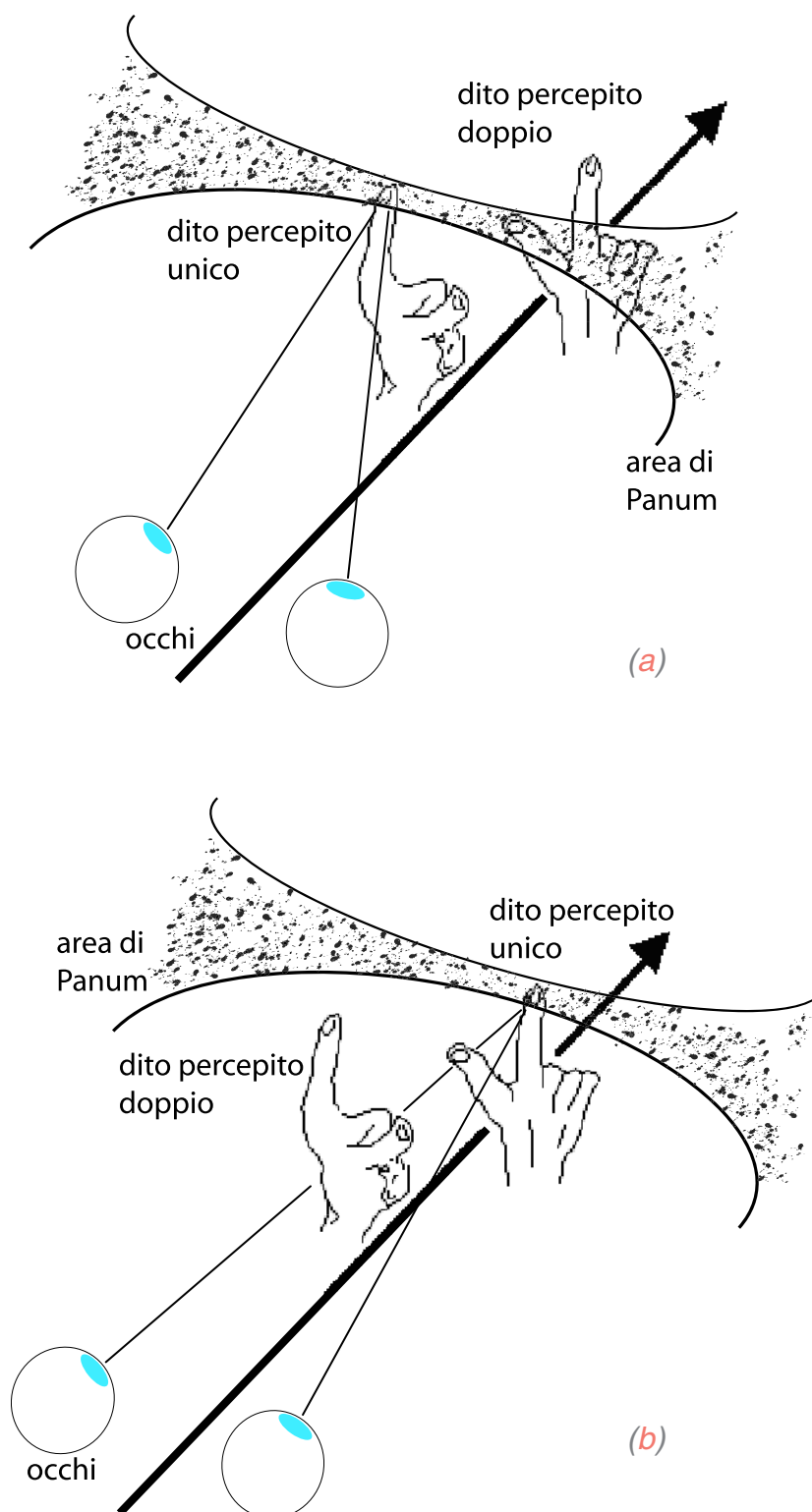



Fig. 6 - Esperimento per riprodurre l'effetto della "diplopia"

Tuttavia, i centri preposti alla visione, analizzando le disparità retiniche tra le sue immagini sulle retine, B_s e B_d, e quelle relative al punto di fissazione *F*, rispettivamente F_s e F_d, ricavano la percezione di maggiore o minore distanza rispetto al punto di fissazione. Nella figura 5, il punto oggetto *B*, situato al di là dell'oroptero, è correttamente percepito più distante di *F*.

I punti oggetto che si trovano al di fuori dell'area di Panum vengono visti come doppi, fenomeno chiamato **diplopia**. Le immagini di tali punti oggetto si formano su punti retinici che, non essendo accoppiati, si chiamano **disparati** e non portano alla fusione.

Per renderci conto di questo fenomeno possiamo effettuare un semplice esperimento illustrato nelle figure 6a e 6b: mettiamo davanti ai nostri occhi ad una distanza di circa 20 cm. l'indice della mano sinistra. Se a questo punto noi lo fissiamo lo vedremo singolo; se frapponiamo tra il nostro volto e il dito l'indice della mano destra noi vedremo quest'ultimo come doppio (diplopia crociata) ed identica sensazione avremo se lo posizioneremo tra l'indice della mano sinistra e l'infinito (diplopia omonima). Cambiando punto di fissazione la diplopia si verifica per altri oggetti, quindi, proseguendo l'esempio, ponendo l'attenzione all'indice della mano destra (senza spostarla), vedremo doppio il dito della mano sinistra.

Se un oggetto percepito come doppio è posto tra gli occhi e l'oroptero parleremo di **disparità crociata** mentre se è posto tra l'oroptero e l'infinito parleremo di **disparità omonima**.

Abitualmente non ci accorgiamo della diplopia cosiddetta **fisiologica** poiché la nostra attenzione è focalizzata sull'oggetto che stiamo osservando e quindi il nostro cervello trascura le immagini doppie.

2.4 La percezione della profondità, la stereopsi

La percezione della profondità non dipende solamente dalla visione binoculare, ma è frutto di un insieme di elaborazioni mentali e di fenomeni percettivi e fisiologici la cui conoscenza permette di ricreare artificialmente la sensazione di distanza, oppure creare situazioni e ambienti paradossali.[Nota 3]

Le arti visive, in particolare la pittura, la fotografia e la cinematografia, hanno spesso sfruttato tali processi, a volte anche effettuando artificiose elaborazioni sul materiale visivo, per ottenere la sensazione di distanza desiderata.[Note 4,5]

In particolare, vi sono molti **elementi monoculari**, cioè osservabili ed efficaci anche con un occhio solo, che concorrono al giudizio della distanza relativa tra gli oggetti osservati; alcuni di essi sono:

- Il **movimento parallattico**: la velocità di spostamento di un oggetto vicino sembra maggiore di quella di uno lontano.
- La **prospettiva lineare**: un oggetto di grandezza costante sottende angoli progressivamente minori (quindi è visto più piccolo), man mano che si allontana. L'esempio più classico è la convergenza apparente di due rette parallele che si allontanano dall'osservatore.
- La **sovrapposizione dei contorni**: un oggetto che interrompa i contorni di un altro viene percepito come anteposto all'altro. Questo è un fattore molto importante per le inquadrature nelle riprese stereoscopiche.
- La **distribuzione delle luci e delle ombre**: il chiaro-scuro genera una impressione di rilievo e quindi di profondità relativa.
- La **familiarità con oggetti noti**: la distanza tra oggetti noti viene giudicata anche in base alla loro grandezza apparente.
- La **prospettiva aerea**: la foschia atmosferica influenza il contrasto e il colore degli oggetti situati più lontano. Inoltre ne sfuma i contorni. Il fenomeno viene spesso utilizzato in fotografia mettendo a fuoco il soggetto principale e sfocando ad arte gli altri piani, in particolare lo sfondo.
- L'**accomodazione** del cristallino, ovvero la modificazione della sua forma per mettere a fuoco l'immagine sulla retina, a carico della muscolatura intrinseca.

Gli **elementi binoculari**, cioè quelli che vengono percepiti con ambedue gli occhi, aggiungono precisione e qualità alla percezione della distanza.

Il principale elemento binoculare è la **convergenza degli assi ottici oculari**, permessa dalla muscolatura estrinseca. Peraltro, la convergenza su punti distanti più di 30 metri dall'osservatore (angolo di convergenza pari a circa 4', ossia 0.062°) è ottenuta con spostamenti angolari del globo oculare troppo piccoli per essere sentiti e misurati.

Di maggiore interesse per la stereoscopia è la **stereopsi**, ossia la visione tridimensionale che origina dall'analisi delle piccole differenze tra le immagini recepite dai due occhi.[Nota 6]

Nella realtà, infatti, un oggetto occupa un volume non nullo e quindi viene percepito come un insieme di punti oggetto che proiettano la propria immagine su altrettante coppie di punti

Nota 3 - Per esempio: Joseph Albers (1888-1976), Victor Vasarely (1906-1997) Maurits Cornelis Escher (1898-1972), la corrente artistica della “op art” degli anni '60-'70 (Bridget Riley, Richard Anuszkiewicz, Jesus-Rafael Soto, Kenneth Noland, Francois Morellet, Lawrence Poons), ricerche, mostre ecc. relative alle illusioni ottiche.

Nota 4 - Un esempio tra i più noti è la prospettiva, reintrodotta da Giotto (Ambrogio Bordone 1267-1337) dopo che si era “persa” in epoca medievale, che si basa sulla distorsione delle forme geometriche degli oggetti osservati, in particolare della apparente convergenza verso “punti di fuga” di segmenti di retta altrimenti paralleli.

Nota 5 - Altra tecnica molto usata in fotografia e cinematografia è la sfocatura di piani diversi che si basa sull'esperienza secondo cui oggetti lontani appaiono più sfumati degli oggetti vicini a causa della foschia e della limitata risoluzione dell'occhio.

Nota 6 - Il sistema percettivo analizza anche le differenze tra e immagini complessive che vengono recepite dai due occhi e che risultano leggermente diverse a causa della parallasse oculare. Alcuni autori chiamano anche tale processo “stereopsi”. Nel seguito ci si riferirà implicitamente anche a questo processo anche se la derivazione dei modelli geometrici si basa sulla interpretazione di “stereopsi” data nel testo.

retinici. Solo un punto oggetto può essere il punto di fissazione: quello in cui convergono gli assi ottici oculari.

I punti oggetto situati nei suoi pressi cadono o sull'oroptero o nell'area di Panum e vengono quindi fusi in punti singoli. Tuttavia generano disparità retiniche la cui analisi e misura da parte del sistema percettivo conferiscono all'oggetto impressione di solidità e di profondità.

La stereopsi risulta perciò dalla lieve disparità con cui sono visti gli oggetti purchè siano compresi nell'area di Panum, ossia purché siano precepiti senza diplopia.

In altre parole ancora, la stereopsi è la visione tridimensionale che origina dalla stimolazione simultanea di punti retinici orizzontalmente disparati da parte di punti oggetto situati nell'ambito delle aree di Panum.

L'**acutezza stereoscopica** è la disparità minima oltre la quale non si produce alcun effetto stereoscopico. Valori pari a circa 15-30 secondi d'arco, ossia 0.004°-0.008°, sono ritenuti eccellenti. Si noti che l'angolo di acutezza stereoscopica è circa 15 volte minore del minimo angolo di convergenza oculare sensibile. Questo sembrebbe implicare che la percezione della profondità è maggiormente dovuta alla stereopsi rispetto ad altri fenomeni, in particolare rispetto alla convergenza oculare.

3. Tecniche stereoscopiche

3.1 I principi di funzionamento

Per **stereoscopia** si intende genericamente la tecnica che si prefigge di riprodurre il fenomeno della stereopsi.

Le tecnologie e le tecniche con le quali si ottiene questo fine sono molto disparate e, evidentemente, dipendono dalla tecnologia disponibile – si tenga conto che sono passati circa 170 anni dal primo strumento stereoscopico – ma tutte si basano sulla riproduzione artificiale della situazione reale che genera la stereopsi al fine di indurre nell'osservatore un'apparente percezione della profondità.

In particolare, le tecniche stereoscopiche mirano a riprodurre artificialmente i diversi angoli sotto cui, in una situazione reale, i due occhi vedrebbero i diversi punti che formano l'oggetto sotto osservazione.

Fattore comune di tutte le tecniche è l'uso di due immagini per volta, una per l'occhio destro e una per quello sinistro. Per questo motivo si parla spesso di **coppia stereoscopica**, sia che si tratti di immagini fisse che di sequenze in movimento. Le varie tecniche differiscono invece in modo sostanziale per la modalità con la quale la singola immagine della coppia stereoscopica viene veicolata all'occhio corretto.

Un altro punto importante è legato al punto di fissazione. Questo è il punto reale in cui convergono gli assi ottici oculari quando si osserva un oggetto, e cade – per costituzione dell'occhio e per la stessa definizione di asse ottico oculare – al centro della scena osservata in ambedue gli occhi. Quindi, tenendo conto che l'apertura di campo è identica per ambedue gli occhi, questi vedono la stessa scena (in altre parole: gli oggetti costituenti la scena vengono visti in posizioni grosso modo coincidenti) pur con le piccole differenze dovute alla parallasse - peraltro sfruttate dalla stereopsi.

Ciò giustifica la tecnica, pressoché universalmente utilizzata, di riprodurre le due immagini costituenti la coppia stereoscopica in posizioni spazialmente coincidenti (per esempio sullo stesso schermo), sfruttan-

do opportune tecnologie per separare le immagini relative ai due occhi e veicolarle quindi all'occhio corretto; con altre tecniche le immagini vengono proiettate direttamente all'occhio corretto, ma in tali casi si richiede all'osservatore un adattamento per rendere spazialmente coincidenti le due immagini in modo artificioso (un esempio sono gli stereogrammi).

La figura 8 rappresenta la situazione in cui si trova un osservatore che stia osservando un oggetto del mondo reale come illustrato in figura 7.

Per schematizzare, dell'osservatore si considerano solo gli occhi, in particolare il centro di rotazione degli assi ottici oculari, O_s e O_d, rispettivamente per l'occhio sinistro e per l'occhio destro, e dell'oggetto solo un punto, un **punto oggetto**, indicato con *F* e situato per semplicità di trattazione sull'asse Z.

L'osservatore, più precisamente il punto medio del segmento *b* che ha estremi in O_s e O_d, viene posto nell'origine di un sistema di assi cartesiani, il cui asse X comprende O_s e O_d, e corrisponde quindi nominalmente alla direzione **orizzontale trasversale**, l'asse Z corrisponde alle direzione "longitudinale davanti" all'osservatore, e l'asse Y (non visibile in figura) corrisponde alla direzione verticale che non riveste importanza per la derivazione che segue e può essere quindi trascurato.

Si noti che il piano XZ contiene gli assi ottici degli occhi ed è quindi conseguentemente inclinato rispetto all'**orizzontale**.

Inoltre, per motivi che saranno più chiari nel seguito, si consideri anche un piano *S*, ortogonale all'asse Z, interposto tra osservatore e punto osservato.

Quando l'osservatore fissa il punto *F*, gli

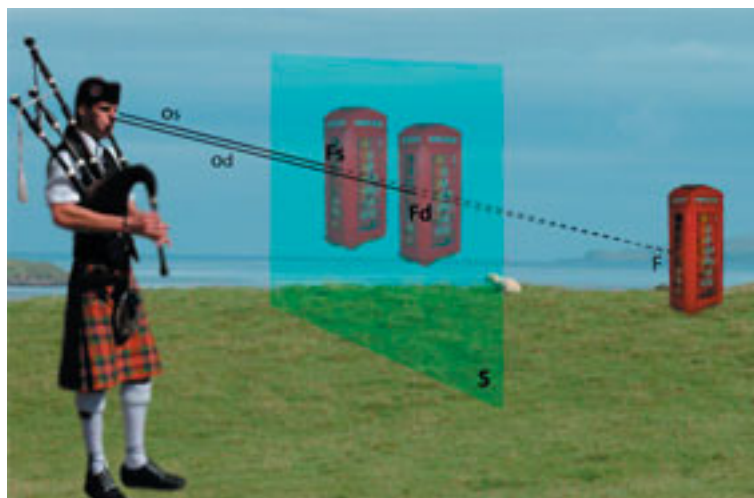



Fig. 7 - Illustrazione schematica della geometria dell'osservazione di un oggetto reale (materiale iconografico: ing. Daniele Airola).

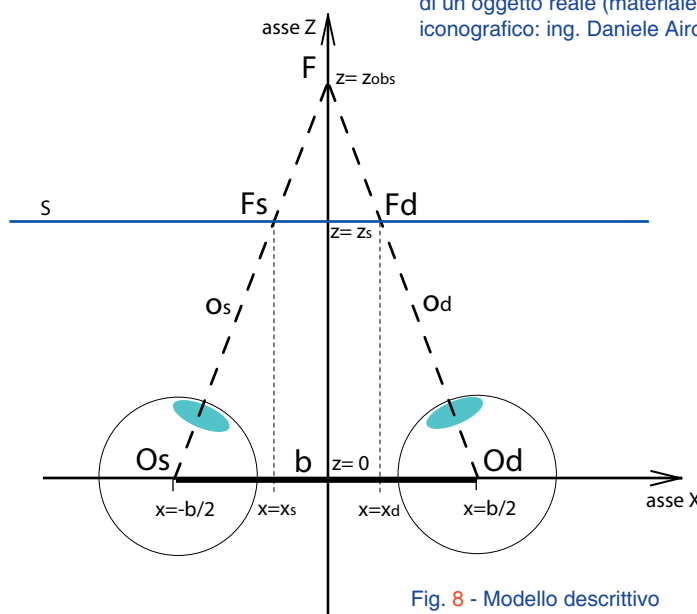



Fig. 8 - Modello descrittivo dell'osservazione reale, piano S interposto tra punto F e osservatore

assi ottici oculari, o_s e o_d, convergono su tale punto, e intersecano il piano *S* nei punti F_s e F_d; questi, per come sono stati ricavati, corrispondono alle proiezioni del punto *F* sul piano *S* viste, rispettivamente, dall'occhio sinistro e dall'occhio destro.

Si noti che in questo caso F_s è **a sinistra** di F_d.

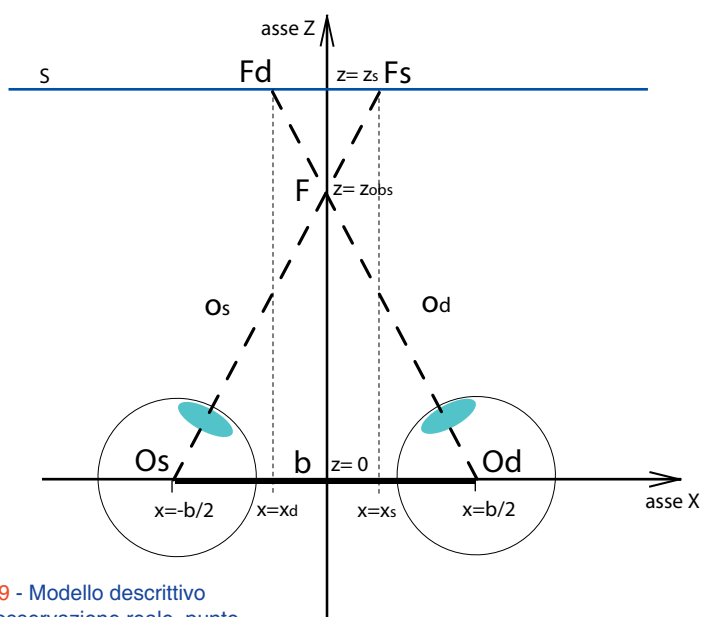



Fig. 9 - Modello descrittivo dell'osservazione reale, punto F interposto tra piano S e osservatore

Se il punto *F* risultasse interposto tra piano S e osservatore, si avrebbe la situazione illustrata in figura 9. Le intersezioni con il piano *S* dei prolungamenti oltre al punto di fissazione *F* degli assi ottici oculari o_s e o_d sono ancora indicate con Fs e Fd. Si noti che in questo caso F_s risulta **a destra** e F_d risulta **a sinistra**.

La stereoscopia si basa sull'assunto che, per ottenere la percezione della profondità, sia sufficiente proporre all'osservatore una riproduzione della realtà basata sulle proiezioni dei punti oggetto su uno schermo (bidimensionale), veicolate all'occhio corretto mediante opportune tecniche.

In questo differisce profondamente da quelle tecniche, quali l'olografia, che si basano invece sulla riproduzione della configurazione tridimensionale reale dei punti oggetto.

Rispetto a queste, la stereoscopia richiede minori risorse tecnologiche, tanto che da tempo è una realtà anche industriale, ancorché di nicchia.

Tuttavia, soffre di problemi dovuti all'interazione negativa tra la scena apparente, che sfrutta alcuni elementi binoculari, in particolare la stereopsi, e altri elementi non sempre controllabili ed evitabili, dovuti soprattutto alle condizioni reali di visione e alle tecniche di generazione della coppia stereoscopica.

3.2 Modello della visione

In questo paragafo si introduce un modello geometrico per la visione di una coppia stereoscopica, illustrata in linea di principio nella figura 10.

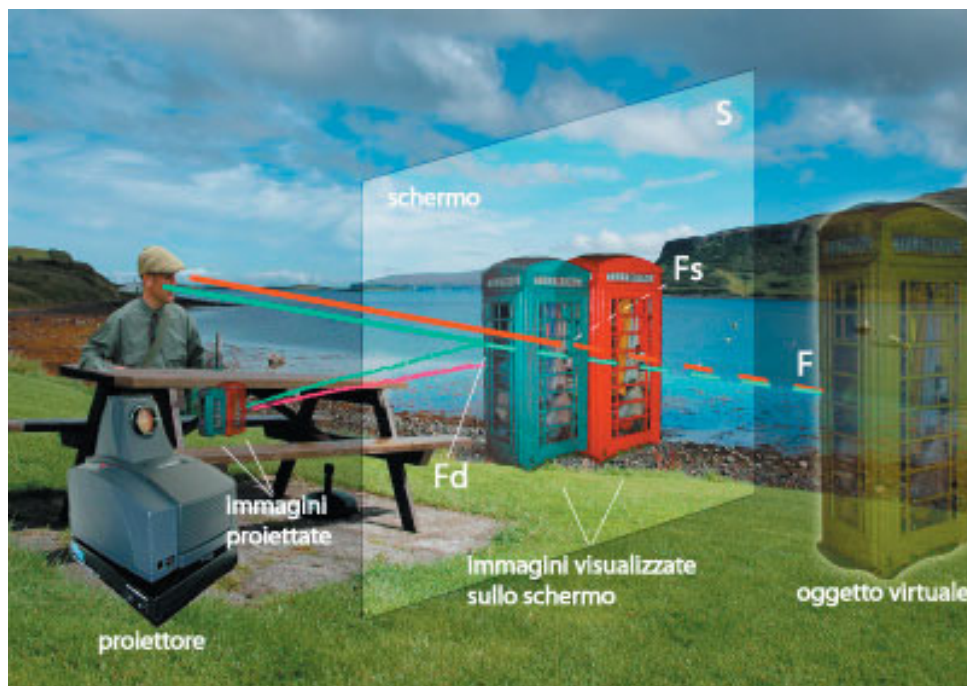



Fig. 10 - Illustrazione schematica della presentazione della coppia stereoscopica (materiale iconografico: ing. Daniele Airola).

La figura 11 illustra schematicamente la configurazione di proiezione della coppia stereoscopica

Si noti la coincidenza spaziale tra le due immagini costituenti la coppia stereoscopica. Tali immagini sono composte dalle proiezioni sullo schermo reale *S* delle immagini delle proiezioni dei punti oggetto sull'ipotetico piano S introdotto nel paragrafo precedente. In figura, l'immagine da veicolare all'occhio sinistro è di colore rosso, quella da veicolare all'occhio destro è di colore blu. Per distinguere i due casi sopra illustrati, F'_x si riferisce alla situazione in cui il piano S è interposto tra punto e osservatore, F''_x si riferisce invece all'altro caso. I punti F'_s, F'_d, F''_s e F''_d sono realmente proiettati sullo schermo (reale), e, almeno in linea di principio, sono ricavati come proiezioni dei punti reali sull'ipotetico piano S introdotto nel paragrafo precedente. La figura 12 illustra la situazione vista dall'alto.

Quando l'osservatore considera i punti F'_s e F'_d, gli assi ottici o_s e o_d convergono verso il punto immaginario *F'* situato **al di là** dello schermo. Invece quando l'osservatore considera i punti F''_s e F''_d, gli assi ottici o_s e o_d convergono verso il punto immaginario *F"* situato **al di qua** dello schermo, tra schermo e osservatore.

L'illusione cui tende la tecnica è quella di stimolare nell'osservatore la sola percezione di due punti, *F'* e *F"*, nell'esempio situati a distanza diversa e, rispettivamente, **al di là** e **al di qua** dello schermo, tramite la proiezione di immagini generate in modo opportuno.

Tale configurazione geometrica può essere modellata come rappresentato in

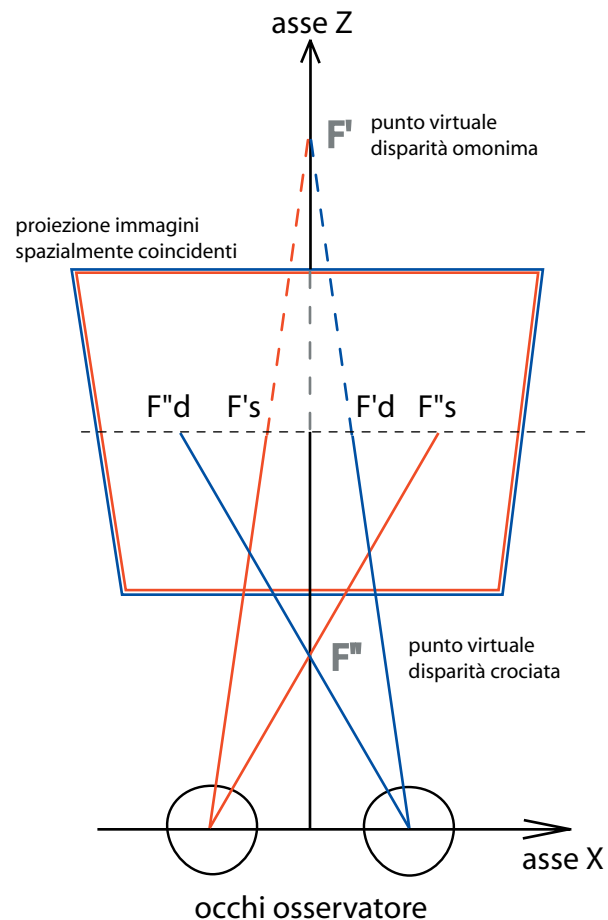



Fig. 11 - Configurazione schematica della proiezione della coppia stereoscopica

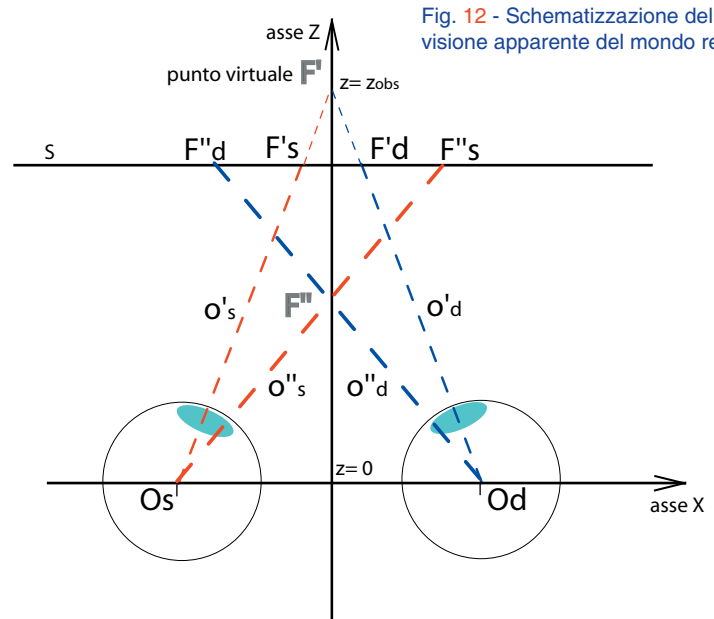



Fig. 12 - Schematizzazione della visione apparente del mondo reale

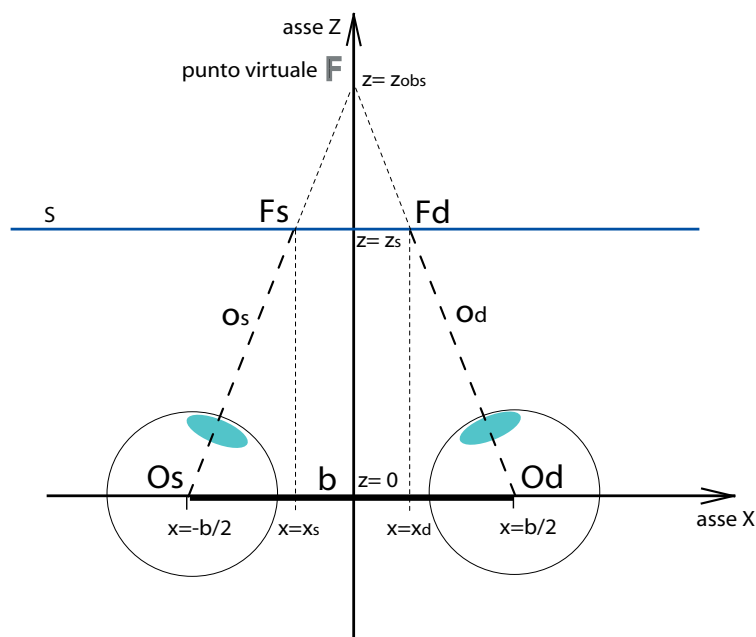



Fig. 13 - Modello della visione - punto "al di là" dello schermo

Fig. 14 - Modello della visione - punto "al di qua" dello schermo

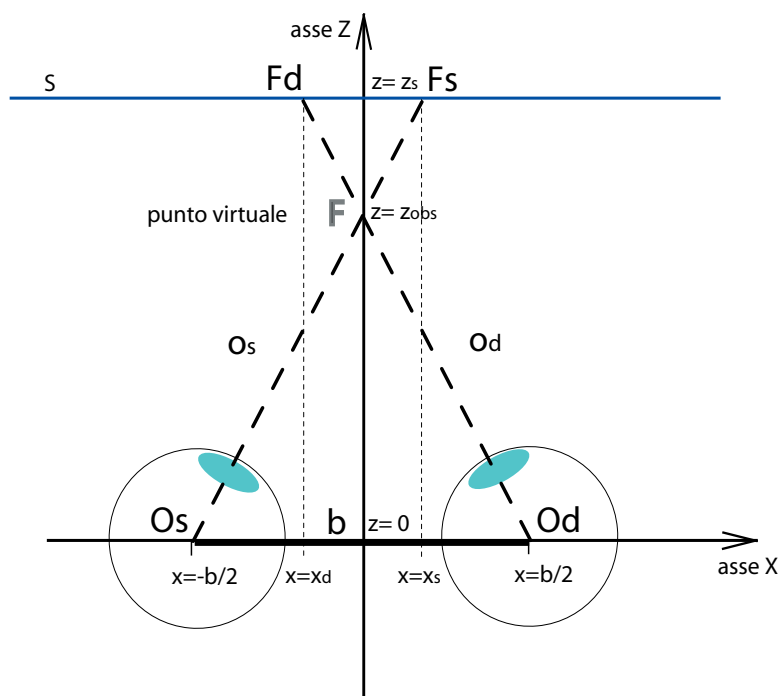



figura 13 nel caso di punto percepito **al di là** dello schermo.

Utilizzando la similitudine dei triangoli O_sFO_d, e F_sFF_d, tenendo conto che la lunghezza dei segmenti deve essere sempre positiva, si ottiene:

$$\frac{(x_d - x_s)}{(z_{obs} - z_s)} = \frac{b/2 - (-b/2)}{z_{obs}} \quad (1)$$

che, risolta evidenziando la distanza z_{obs} tra punto e osservatore, dà la seguente espressione (le variabili usate sono illustrate nel seguito):

$$z_{obs} = z_s \frac{b}{b + x_s - x_d} \quad (2)$$

La configurazione in cui il punto viene percepito tra lo schermo e l'osservatore è invece modellata geometricamente come in figura 14.

Utilizzando anche in questo caso la similitudine dei triangoli O_sFO_d, e F_sFF_d, tenendo conto che la lunghezza dei segmenti deve essere sempre positiva, si ottiene:

$$\frac{(x_s - x_d)}{(z_s - z_{obs})} = \frac{b/2 - (-b/2)}{z_{obs}} \quad (3)$$

che, risolta evidenziando la distanza z_{obs} tra punto e osservatore, dà la seguente espressione (le variabili usate sono illustrate nel seguito):

$$z_{obs} = z_s \frac{b}{b + x_s - x_d} \quad (4)$$

Si noti che le formule (2) e (4) sono formalmente identiche, perciò i due casi si possono modellare con la stessa formula che qui si riporta per chiarezza:

$$z_{obs} = z_s \frac{b}{b + x_s - x_d} \quad (5)$$

dove:

z_{obs} = distanza tra osservatore e punto di fissazione percepito *F*, coincidente con la coordinata *Z* del punto stesso

z_s = distanza tra osservatore e schermo *S*

x_s , x_d = ascisse punti proiettati $F_{s,d}$

b = distanza tra i centri di rotazione degli assi ottici; non differisce sostanzialmente dalla distanza interpupillare.

La distanza percepita z_{obs} del punto apparente dall'osservatore è proporzionale alla distanza z_s tra osservatore e schermo, è all'incirca inversamente proporzionale alla distanza tra i punti proiettati $x_s - x_d$ e dipende in modo più complesso dalla distanza interpupillare *b*.

Quest'ultima dipende dall'osservatore. In un maschio adulto varia da 5.77 cm a 6.96 cm, con una media di 6.32 cm e una variazione percentuale pari a circa il 20%. I bambini presentano ovviamente valori inferiori.

La distanza tra punti proiettati, $x_s - x_d$, è generata ad arte per generare l'effetto di profondità desiderato. E' l'unico parametro in linea di principio controllabile da chi produce le immagini. Si noti però che per generare esattamente l'effetto tridimensionale desiderato, in sede di produzione si dovrebbe poter conoscere esattamente la dimensione dello schermo su cui avverrà la proiezione. Infatti, a parità di distanza $x_s - x_d$, misurata in sede di produzione in termini di pixel, la proiezione su schermi di dimensioni differenti mostrerà differenti valori per la distanza $x_s - x_d$ misurata in termini di lunghezza lineare.

In ogni caso, il valore della distanza $x_s - x_d$ non deve superare quello della distanza interpupillare altrimenti gli occhi sarebbero forzati a divergere in modo innaturale. In formule, si deve rispettare la disegua-glianza seguente:

$$x_d - x_s \leq b \tag{6}$$

Nel caso in cui i punti proiettati risultassero coincidenti, il punto oggetto apparente sarebbe percepito adagiato sullo schermo. Il modello ci conferma l'esperienza; infatti, ponendo nella (5):

$$x_s - x_d = 0 \tag{7}$$

si ottiene:

$$z_{obs} = z_s \tag{8}$$

La distanza z_s tra osservatore schermo può essere controllata solo in parte poiché, in genere, non si può intervenire sulle condizioni di visione. Tuttavia, per limitare le differenze di percezione la distanza dallo schermo degli spettatori non deve essere troppo diversa. Si noti che nei teatri IMAX le poltrone sono disposte su un settore di corona circolare non eccessivamente profondo.

3.3 Criticità legate alla tecnica stereoscopica

Dall'analisi della formula (5), che descrive il modello geometrico della visione, emerge come sia praticamente impossibile, data la non controllabilità dei vari parametri, riprodurre fedelmente la geometria cui un osservatore reale sarebbe spettatore in una situazione reale.

Ciò si potrebbe teoricamente ottenere se tutti i parametri, anche e soprattutto quelli relativi alla ripresa, non considerati in questo lavoro, potessero essere misurati e/o controllati (per esempio: simulazioni

personalizzate in ambienti controllati e per osservatori singoli).

Nel campo televisivo si devono invece considerare, per i vari parametri, dei limiti non troppo stringenti: non si potrà quindi pretendere dal sistema una assoluta fedeltà quantitativa, ma si otterrà una rappresentazione in certa misura anche percepita come artificiosa.

Un esempio è dato dal fenomeno detto **effetto teatro delle marionette** (*puppet theater effect*), consistente nella visualizzazione di oggetti conosciuti, soprattutto le persone, con una grandezza innaturalmente inferiore a quanto ci si aspetterebbe in relazione alla distanza percepita.

La stereoscopia è afflitta inoltre da fattori disturbanti dovuti all'artificiosità della tecnica.

Per esempio, infatti, sebbene si utilizzi la stereopsi e si possano convenientemente adottare i classici elementi monoculari già noti nel campo televisivo, in sede di visualizzazione l'occhio si adatta, sia come punto di fissazione che come distanza, sullo schermo, e da ciò possono nascere incongruenze tra le senzazioni reali e le senzazioni apparenti suscitate dalla proiezione stereoscopica.

I numerosi fattori disturbanti possono provocare affaticamento se lievi, ma possono anche portare alla perdita della percezione della prospettiva se di entità eccessiva.

4. Commenti

La stereoscopia è uno strumento artificiale per riprodurre la stereopsi, l'elemento della visione maggiormente responsabile della percezione della profondità e della distanza relativa.

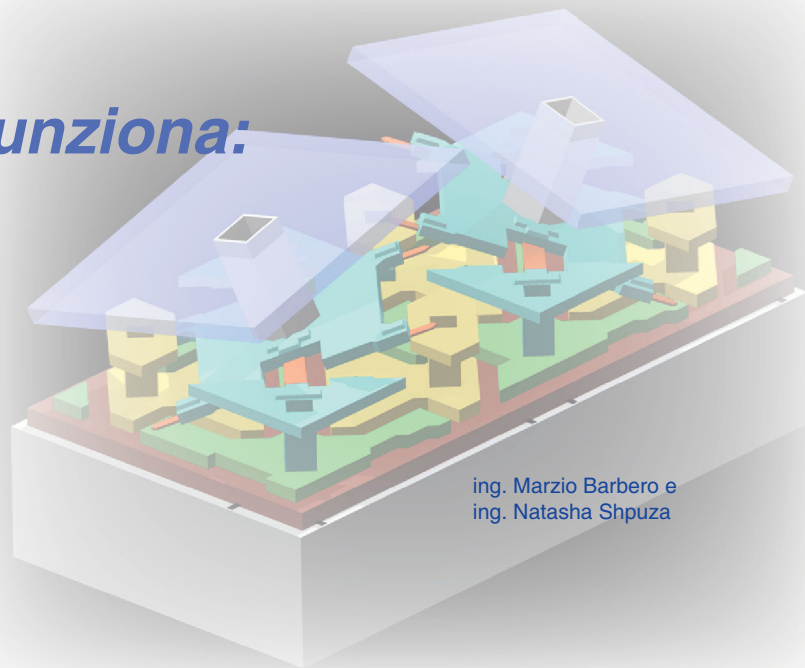
Risente di problemi legati all'artificiosità insita nell'operazione di **riproduzione** che in alcuni casi porta ad incongruenze visive, più o meno fastidiose, che generano affaticamento e, al limite, portano a perdere l'effetto tridimensionale con grave detrimento della qualità della visione.

Tuttavia, quando tali limiti non vengono superati, la stereoscopia permette di creare rappresentazioni della realtà o di realtà virtuale caratterizzate da verosimiglianza, naturalezza, elevata spettacolarità e grande coinvolgimento dell'osservatore (**effetto presenza**), senz'altro superiori a quanto ottenibile con la tradizionale televisione bidimensionale.

Pertanto, a discapito di evidenti difficoltà di uso dello strumento, dovute in parte anche all'inesperienza operativa, la stereoscopia offre ottime caratteristiche che non possono essere ignorate da chi si occupa di televisione.

Bibliografia

1. T.Canziani, S.Spasse - "Visione stereoscopica" - Trieste 2002 (www.univ.trieste.it/~brain/visione/Stereopsi/Stereopsi1.html)
2. A.Chiari, F.Fedi - "Televisione, crisi o rinascita?" - Telèma autunno 1997
3. Radiocorriere 1928
4. "The perception of Space" (webvision.med.utah.edu/space_perception.html)
5. "The perception of Depth" (webvision.med.utah.edu/KallDepth.html)

Che cosa è, come funziona: display e proiettori, recenti progressi

ing. Marzio Barbero e
ing. Natasha Shpuza

1. Premessa

Nel numero di agosto del 2002 furono pubblicate quattro schede sulle tecnologie di realizzazione degli schermi piatti o FPD (*Flat Panel Display*) e sui proiettori.

Questa scheda è di aggiornamento sugli sviluppi relativi a questi dispositivi: tutti hanno subito dei miglioramenti tecnologici e, soprattutto, un incremento di penetrazione del mercato, grazie ad una significativa diminuizione del costo.

2. Formati d'immagine

Una spinta alla maggior diffusione dei display piatti e di ampio formato è legata alla progressiva diffusione della HDTV (*High Definition TeleVision*).

Particolarmente importante è l'evoluzione in atto negli USA.

Nell'aprile 1977 la FCC (*Federal Communications Commission*) stabilì il passaggio alla televisione digitale (DTV, *Digital TeleVision*) per la diffusione terrestre e assegnò lo spettro a circa 1500 stazioni, decretando che le tre televisioni commerciali maggiormente seguite dovessero passare alla DTV entro il 1° maggio 1999 e che tutte dovessero passare alla DTV entro il 2006, pena il ritiro dell'assegnazione della banda di frequenza.

Lo standard DTV, definito in USA, è unico, ma sono previsti ben 18 formati differenti, sei dei quali sono in alta definizione.

I formati alta definizione specificati sono tutti caratterizzati da un formato d'immagine 16:9:

- 1920 pixel per riga e 1080 righe video, a 24 e 30 quadri al secondo, e, nel caso di formato interlacciato, a 60 semiquadri al secondo (1080i);
- 1280 pixel per 720 righe, a 24, 30 e 60 quadri al secondo, in formato progressivo (720p).

I restanti 12 formati sono SDTV (*Standard Definition Television*) e prevedono il formato d'immagine sia 4:3 che 16:9:

- 704 pixel per 480 righe, a 24, 30 e 60 immagini al secondo;
- 640 pixel per 480 righe, a 24, 30 e 60 immagini al secondo.

3. FPD (Flat Panel Display)

3.1 PDP (Plasma Display Panel)

Nel tempo si sono susseguiti gli annunci relativi a prototipi del "più grande pannello al plasma del mondo": nel 1998 era 60", nel luglio 2003 era 71" e nell'ottobre 2003 76". Nel marzo 2004 il più grande, annunciato da Samsung, è da 80" (figura 1).

Se si esaminano invece i PDP effettivamente proposti in vendita, la situazione non è molto cambiata, per quanto riguarda le dimensioni, da quella rappresentata nella foto che chiudeva la scheda relativa ai display al plasma [1] pubblicata due anni fa. La foto rappresentava tre pannelli di diversa dimensione: 42", 50" e 61".

I numerosi PDP da 42" comprendono modelli caratterizzati da risoluzioni native differenti: 852x480, 1024x768, 1024x1024.

Fig. 1 - Il più grande pannello al plasma al mondo, annunciato dalla Samsung nel marzo 2004, risoluzione nativa 1920x1080, formato d'immagine 16:10, luminanza 1000 nit (cd/m2), contrasto 2000:1, dimensioni 1891 mm x 1303 mmm x 113 mm.

I modelli da 50" e da 60" sono normalmente caratterizzati da una risoluzione nativa 1366x768.

Poiché la tecnologia PDP, come illustrato nella scheda [1], implica un aumento delle dimensioni del pannello al crescere della risoluzione, i pannelli commerciali di maggiori dimensioni consentono di riprodurre il formato HD 1280x720p in modo nativo.

Per la riproduzione del formato HDTV con maggior numero di pixel (1920x1080) occorre invece arrivare alle dimensioni 70" o 76" (il primo Samsung e il secondo LGE, entrambi annunciati in gennaio) oppure 80" (Samsung).

I PDP hanno caratteristiche molto buone per quanto riguarda definizione, riproduzione dei colori e angolo di visione (160°, analogo a quello dei televisori a CRT, *Cathode Ray Tube*). Progressi sono stati fatti per quanto riguarda il rapporto di contrasto, che in alcuni modelli raggiunge 4000:1, e la vita prevista (definita come il periodo in cui la luminanza decresce al 50% del valore iniziale). Inizialmente la vita era limitata a 10000 ore, ormai si parla di vita prevista superiore a 60000 ore (che corrisponde ad una media di 5 ore di funzionamento al giorno per 33 anni).

Nel 2002 l'ordine di grandezza dei PDP venduti al mondo era circa 500 mila, nel primo trimestre di quest'anno è stato pari a 699 mila e si prevede che l'espansione del mercato continuerà fino ad arrivare, nel

Breve descrizione del funzionamento PDP

Si basa sulla fluorescenza, emissione di luce da parte di fosfori. Strutturalmente, è costituito da una matrice di celle comprese fra due lastre di vetro. Ogni cella è costituita da tre sottocelle separate mediante costole perpendicolari allo schermo. Alle sottocelle corrispondono i fosfori rosso, verde e blu. Un campo elettrico è applicato ad un gas a bassa pressione contenuto nella sottocella: quando è applicata una tensione elevata si ha passaggio di corrente e il gas cambia stato, si ionizza e diventa plasma. Alcuni atomi, eccitati, emettono raggi ultravioletti, colpiscono gli atomi di fosforo, che a loro volta emettono energia sotto forma di luce visibile (rossa, verde e blu).

2008, a 13,6 milioni di display, destinati sia ad uso come TV domestica che per usi pubblici (fonte www.displaysearch.com).

L'ampia disponibilità produttiva rende sempre più attraenti i prezzi che, per i modelli non professionali della fascia più diffusa (42") sono già scesi sotto i 3000 €.

3.2 TFT-LCD (Thin Film Transitor-Liquid Crystal Display)

Nella sezione "Il mercato" della scheda [2] si accennava alla legge di Nishinura (incremento di un fattore di 1,7—1,9 per la superficie dello schermo tra una generazione e la successiva). Nel 2002 si era alla quinta generazione (corrispondente a 1200 x 1000 elementi di immagine) e si indicava la previsione che gli impianti per la produzione della sesta generazione sarebbero stati attivi nel 2005.

Già nel 2003 sono stati presentati prototipi di schermi da 54" (Samsung) e 52" (LG-Philips). Dall'inizio di quest'anno sono attivi i primi impianti (figura 1) di sesta generazione.

Il primo impianto di sesta generazione TFT-LCD è in grado di lavorare substrati da 1500 x 1800 mm. Da ciascun substrato in vetro è possibile ottenere sei schermi

Fig. 1 - I due impianti della Sharp in Giappone per la produzione di schermi TFT-LCD della sesta generazione.

da 37" o dodici da 26" per la produzione di TV.

Una seconda linea è stata avviata in agosto, in grado di produrre schermi anche da 45" (figura 2). Tre schermi di tale dimensione possono essere ottenuti da ciascun substrato ed ora Sharp sta valutando quale fra le varie opzioni (maggior numero di schermi o dimensioni più grandi) può sfruttare meglio il mercato.

Ad agosto è stato avviato anche il primo impianto non situato in Giappone, quello della Philips-LGE in Corea, focalizzato nella produzione di schermi da 32", 37" e 42" per applicazioni TV e 17" per monitor da PC.

Breve descrizione del funzionamento di TFT-LCD

LCD è una tecnologia di tipo trasmissivo, a valvola di luce. La quantità di luce bianca che transita attraverso il cristallo liquido viene variata, ottenendo così la scala dei grigi. La polarizzazione della luce che transita varia seguendo l'orientamento delle molecole del liquido, che ha proprietà ottiche analoghe a quelle di un cristallo solido. L'orientamento delle molecole è regolato mediante un campo elettrico. La luce passa o non passa attraverso due filtri polarizzanti disposti a 90° fra loro in funzione del campo elettrico applicato al cristallo liquido contenuto in ciascuna cella (nel caso di LCD a colori, a ciascun elemento di immagine corrispondono tre filtri colorati, rosso, verde e blu). Nei display a matrice attiva (TFT) si pilotano i singoli elementi di immagine mediante transistor, aumentando così la velocità di commutaziona del dispositivo.

Fig. 2 - Un televisore dotato di schermo TFT-LCD da 45", ottenuto con i processi di fabbricazione della sesta generazione. Risoluzione per immagini HDTV (WideXGA, 1920 x 1080). Dimensioni e peso, senza piedistallo e altoparlanti, 1084 x 645 x 95 mm, 22 kg. Consumo 224 W.

Ad aprile, sempre in Corea, è stata completata la costruzione di uno stabilimento della S-LCD (Sony-Samsung): la produzione di massa di pannelli TFT-LCD della settima generazione destinata alla realizzazione di TV è prevista entro la prima metà del 2005.

Si possono comparare le caratteristiche del citato schermo da 45" (figura 2) con quelle indicate due anni fa per un modello da 30" (riportati tra parentesi): luminanza 450 cd/m^2 (430), rapporto di contrasto 800:1 (500:1), angolo di visione 170° sia in orizzontale che in verticale (idem), vita 60 mila ore (questa era la vita media stimata già nel 2002), prezzo circa 6000 $ (8000 $).

E' significativo il progresso in termini di rapporto di contrasto, tempi di risposta (scesi a 16 ms) e filtri di colore (per offrire una migliore riproduzione della gamma cromatica).

Gli schermi TFT-LCD si sono diffusi dapprima come display ideale per i notebook, successivamente hanno sostituito i CRT (*Catode Ray Tube*) come display per PC ed ora stanno rapidamente sostituendo i CRT anche come schermi televisivi.

Forse il limite più significativo della tecnica a matrice attiva è costituito dalla scarsa efficienza, solo il 10% della energia viene emessa verso l'utente, essendo la maggior parte assorbita da polarizzatore e filtro di colore.

I prezzi sono diminuiti, a parità di dimensioni, e la diminuizione di prezzo, oltre al minor ingombro e peso, è la motivazione del successo nei segmenti di mercato che vedevano in precedenza la predominanza del CRT. Praticamente l'80% in termini di valore del mercato dei nuovi display è oggi rappresentato da LCD. Una valutazione della penetrazione attuale, e di quella prevedibile nei prossimi anni, può essere tratta dal rapporto pubblicato nel marzo di quest'anno da DC Research Group per il periodo 2004-2007. La previsione è di una espansione del mercato TFT-LCD pari a circa il doppio dell'attuale nel suddetto periodo, raggiungendo 42 miliardi di $ nel 2007. Più precisamente, i ricavi nel segmento di mercato LCD-TV cresceranno ad un tasso annuale composto del 41% e supereranno quello dovuti al segmento dei pannelli per notebook nel 2005. Il segmento dei monitor LCD crescerà ad un tasso annuale composto del 9% per toccare i 18 miliardi di $ nel 2007.

3.3 OLED (Organic Light Emitting Diode)

La scheda [3] illustrava questa tecnologia, già utilizzata in prodotti quali telefoni portatili e display di macchine fotografiche, e considerata potenzialmente molto interessante per schermi di grandi dimensioni, per uso informatico e televisivo.

Nel mese di maggio di quest'anno, in occasione della mostra a Seattle della *Society for Information Display* (SID), si sono succeduti una serie di annunci relativi a prototipi di schermi basati su questa tecnica di ampie dimensioni.

Il più grande, della Seiko Epson, è di 40", realizzato componendo 4 pannelli da 14"; le caratteristiche: 1280x768 pixel, 260 000 colori. Fino a quel momento il primato era della Sony con 24". La Samsung ha presentato un pannello da 17" (1600 x1200 pixel) e la Philips Research un 13" da 576 x 324 pixels, luminanza da 150 cd/m^2, con un obiettivo dichiarato di realizzare uno schermo televisivo da 30” da 1,365 x 768 pixel.

Per dimostrare la facilità di produzione di pannelli OLED di grandi dimensioni, la Philips Research ha sviluppato un processo di stampa a getto d'inchiostro basato su una stampante a quattro testine di stampa dotate di 256 ugelli.

Vi sono previsioni che, entro i prossimi tre-cinque anni, schermi TV basati sulla tecnologia dei polimeri OLED possano diventare una realtà. Questa tecnologia offre vantaggi quali: un ampio angolo di visione e basso tempo di risposta, rendendola adatta per la riproduzione del segnale televisivo. Eccellente è la resa per quanto riguarda il livello del nero e il contrasto. Essendo un display che emette luce, non richiede, come gli LCD, una sorgente di luce retroilluminante e quindi può consentire la realizzazione di schermi molto sottili.

L'ostacolo maggiore alla rapida diffusione della tecnologia OLED è tuttora la vita operativa dei display, molto breve, se comparata a quella offerta dagli LCD. Infatti i polimeri costituenti tendono ad essere danneggiati dai processi di riduzione e ossidazione e dallo stress termico dovuto ai meccanismi di pilotaggio a corrente. Inoltre, al crescere della temperatura operativa diminuisce rapidamente la vita e la luminosità. In alcuni prototipi la vita è al momento di sole 2000 ore, ma in altri casi si raggiungono già le 10000 ore a temperatura ambiente e i significativi investimenti in ricerca e miglioramento delle tecnologie fa sperare che ci possa avvicinare in futuro alle 100000 ore, tipiche degli LCD. Una caratteristica molto positiva è la gamma di temperatura operativa degli OLED: da -20 a +85°C.

Breve descrizione del funzionamento dell'OLED

La struttura convenzionale di una cella OLED consiste in una pila di strati di materiale organico compresi tra un anodo, trasparente, e un catodo, metallico. Gli strati organici sono per l'iniezione di lacune, il loro trasporto, uno strato emettitore e uno di trasporto degli elettroni. Quando è applicata una tensione alla cella, le cariche iniettate, positive e negative, si ricombinano e si produce luce (elettroluminescenza). La struttura degli strati organici, di anodo e catodo, è progettata per massimizzare il processo di ricombinazione nello strato di emissione. L'intera struttura può avere spessori molto ridotti, dell'ordine del decimo di millimetro.

3.4 SED (Surface-Conduction Electron-Emitter Display)

Nel 1999, Canon e Toshiba si accordarono per lo sviluppo congiunto di una tecnologia adatta a schermi di grandi dimensioni.

Il SED ha un funzionamento analogo a quello del CRT ed è caratterizzato da elevate prestazioni in termini di luminosità, resa colorimetrica, angolo di visione. Si possono aumentare le dimensioni dello schermo semplicemente aumentando il numero degli emettitori di elettroni, e quindi dei pixel. In assenza dei sistemi di deflessione tipici del CRT, la profondità del display può essere contenuta in pochi centimetri.

Dal punto di vista del consumo energetico, essa è ridotta rispetto al CRT a circa il 50% e rispetto al PDP a circa il 33%.

Breve descrizione del funzionamento del SED

I SED sono costituiti da due pannelli di vetro: su uno sono montati emettitori di elettroni e sul secondo pannello, sovrapposto, è depositata una sostanza fluorescente. Tra i due pannelli vi è il vuoto. A sottilisime fessure, ampie alcuni nm, realizzate mediante un film di particelle ultrafini, viene applicata una tensione: per effetto tunnel si realizza l'emissione di elettroni. Alcuni di questi elettroni, accelerati dal campo applicato tra i due pannelli, collidono con il pannello su cui è depositata la sostanza fluorescente, causando l'emissione di luce.

4. Proiettori e RPTV (Retro Projecton TV)

4.1 DMD™ (Digital Micromirror Device) e DLP™ (Digital Light Processing)

La scheda [4] illustrava i dispositivi basati su microspecchi sviluppati dalla Texas Instruments Incorporated, elementi costituenti di sistemi ampiamenti diffusi per la proiezione e la retroproiezione.

Il sito www.dlp.com raccoglie, in lingua inglese e con l'ausilio di curatissime presentazioni multimediali, informazioni molto dettagliate su questa tecnologia. E' anche possibile effettuare una ricerca sui diversi prodotti disponibili, suddivisi per categoria.

Per quanto riguarda i sistemi a retroproiezione, RPTV, sono stati recentemente sviluppati sistemi con schermi da 50" e 61" (figura 3) e con profondità ridotta a 17,4 cm (in genere la profondità corrispondente a queste dimensioni è però circa tre volte superiore). Questi sistemi sono basati su un singolo HD2 DMD da 1280x720 microspecchi (figura 4).

Nella sezione relativa ai proiettori vi sono numerosi modelli basati sullo stesso chip HD2, quindi orientati alla riproduzione di immagini HD con il formato 720p. Alcuni modelli hanno peso inferiore o prossimo ai 5 kg, in genere generano un flusso luminoso compreso fra 700 e 1500 lumen, tutti supportano sia la visualizzazione in 4:3 che 16:9.

Fig. 3 - il modello ScreenPlay 61md10 della Infocus (www.infocus.com) che utilizza il chip DMD™ HD2+. Schermo da 61", profondità 6,85", HD da 1280x720 microspecchi, formato d'immagine 16:9.
Il merito del ridotto spessore è di un sistema denominato InFocus Engine, per ridurre il percorso di proiezione lampada-lenti e la distorsione. Utilizza lenti di Fresnel fuori-asse caratterizzate da angoli estremamente ampi e due specchi piani.

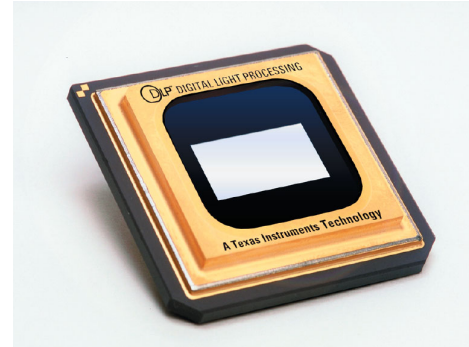
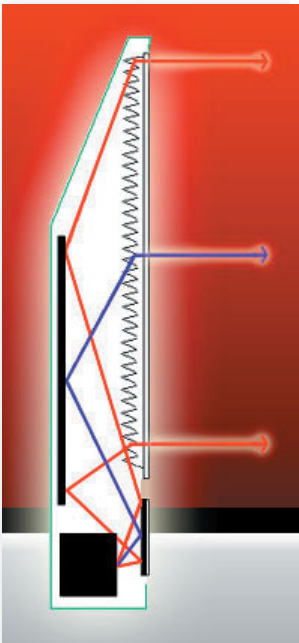
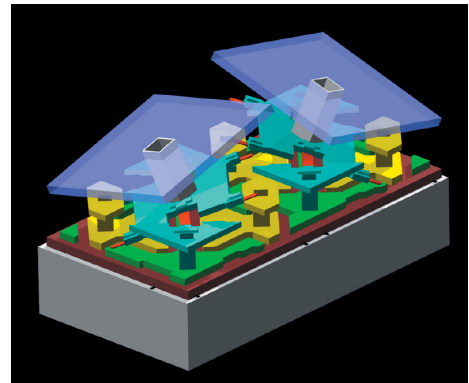



Fig. 4 - Dispositivo HD2 DMD costituito da una schiera di 1280 x 720 specchi. In basso sono illustrati due specchi, uno *on* (la luce che lo colpisce attraverso le lenti di proiezione raggiunge lo schermo) e l'altro *off* (la luce viene riflessa verso una superficie assorbente). Ciascun specchio è controllato indipendentemente da tutti gli altri.

Breve descrizione del funzionamento del DMD™

La tecnologia dei microspecchi è basata sulla riflessione della luce da parte di una schiera di veloci specchi quadrati in alluminio di lato pari a 16 μm ciascuno dei quali può assumere due posizioni, ruotando di +12° o -12°, in funzione della attrazione elettrostatica dello specchio e gli elettrodi connessi alla sottostante cella di memoria. La scala dei grigi viene ottenuta modulando la durata per cui ciascun specchio riflette o non riflette la luce. Nei sistemi con un solo DMD la luce monocromatica riflessa passa attraverso tre filtri, rosso, verde e blu, disposti su una ruota posta di fronte al dispositivo. Nei sistemi a tre DMD, caratterizzati da maggiori prestazioni in termine di luminosità ma più costosi, ogni dispositivo è associato ad uno dei tre colori primari. I sistemi di proiezione e retroproiezione realizzati con i dispositivi a microspecchi DMD™ e di preelaborazione dell'immagine realizzati dalla Texas Instruments sono denominati DLP™.

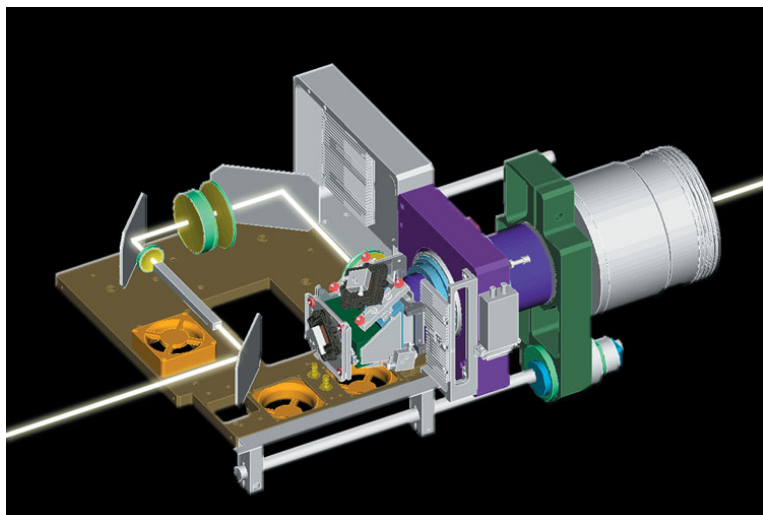



Fig. 5 - Prototipo di proiettore per DLP Cinema. Contiene diversi componenti ottici (specchi, lenti, filtri ottici e una sbarra di integrazione per diffondere la luce), l'alimentatore, l'insieme dei prismi, le lenti di proiezione. Mancano nell'illustrazione due schede con componenti elettronici.

La sezione relativa al cinema digitale permette di individuare il luogo dove sono situate le oltre 200 sale cinematografiche nel mondo (una è in Italia, a Melzo, vicino a Milano) che sono dotate del sistema di proiezione DLP con tre DMD (figura 5). Il formato supportato è HD, 1920 x 1080, progressivo a 24 quadri al secondo.

Idealmente tutta la catena di produzione, distribuzione e visualizzazione di un film può essere attuata completamente in ambito digitale. Il film può essere distribuito attraverso un canale digitale (satellite, fibra ottica o supporto di memorizzazione) e memorizzato su un computer/server che alimenta direttamente il sistema di proiezione. I vantaggi di una tale catena sono la riduzione di tempo e costo nella distribuzione (il film può essere trasmesso contemporaneamente ad un insieme di sale, senza necessità di produrre centinaia di copie in pellicola) e maggiore sicurezza contro la pirateria.

4.2 TFT-LCD

I cristalli liquidi non sono alla base solamente dei pannelli di grandi dimensioni utilizzati per monitor e tv, ma sono anche gli elementi fondamentali di proiettori e retroproiettori. A differenza dei sistemi DLP, in quelli LCD occorrono tre dispositivi separati, uno per ciascun colore primario, e quindi sono caratterizzati da una maggior luminosità, ma anche da maggior peso.

La risoluzione offerta è cresciuta nel tempo ed ora sono disponibili proiettori con fromato HD nativo (dispositivi da 1280x720, 1365x768, 1920 x 1080).

4.2 LCoS (Liquid Crystal on Silicon)

Diversi produttori, fra cui Intel e Philips, hanno annunciato lo sviluppo di dispositivi di tipo LCoS, tecnologia che si può considerare ibrida fra quelle alla base dei proiettori a microspecchi e quella LCD.

Con tre di questi dispositivi, uno per ciascun colore primario, è possibile realizzare proiettori o retroproiettori.

Breve descrizione del funzionamento del LCoS

LCoS può essere considerata come una tecnologia ibrida, poiché sfrutta sia il principio della valvola di luce che della riflessione. Un cristallo liquido è compreso fra uno strato di vetro e un substrato altamente riflettente (specchio). La luce viene riflessa oppure no dallo specchio in funzione dello stato del cristallo liquido (che quindi agisce da valvola di luce). I proiettori usano normalmente tre dispositivi LCoS, uno per ciascuno dei colori primari.

A questa tipo di tecnologia appartiene la D-ILA® (*Digital Direct Drive Image Light Amplifier*) sviluppata dalla JVC, che produce un dispositivo da 1400 x 1050 pixel ed uno da 2048 x 1536 (QXGA) che è la base di un proiettore HD (figura 6).

Fig. 6 - Proiettore JVC basato sulla tecnologia D-ILA®. Tre dispositivi, uno per ciascun colore primario, sono caratterizzati da una risoluzione pari a 4 volte quella XGA e consentono una risoluzione nativa superiore a quella HD. Il contrasto ottenuto dal dispositivo è superiore a 1000:1, luminosità 7000 lumen, potenza 2800 W, peso 85 kg. (www.jvc-victor.co.jp/english/pro/dila/index-e.html)

5. Conclusioni

L'evoluzione dei display e dei sistemi di proiezione negli ultimi anni ha visto l'affermazione di tecnologie già consolidate (plasma, cristalli liquidi, microspecchi). Molti dei difetti iniziali di ciascuna tecnologia sono stati ridotti e la qualità dell'immagine risulta prossima a quella ottenibile con i tubi a raggi catodici (CRT). Le dimensioni dello schermo, peso e ingombro, in particolare la profondità, e definizione rendono ormai attuabile la fruizione del segnale HDTV (sia nelle versioni a 1280x720 che a 1920x1080 elementi d'immagine).

Uno dei fattori che impedirono il successo della televisione in alta definizione negli anni '90 fu appunto la mancanza di opportuni dispositivi per la fruizione della qualità offerta dallo standard (si veda il monitor da 38 pollici, analogico, illustrato nella figura della pagina seguente).

Oggi questo limite è superato, anche se il costo dei dispositivi con più elevata risoluzione è tuttora alto e quindi limita la loro diffusione per applicazioni professionali o agli spettatori più facoltosi.

Le tecnologie su cui sono stati maggiori gli investimenti (non solo in ricerca, ma soprattutto per la realizzazione degli impianti per produrre pannelli PDP e LCD o dispositivi DLP e LCD per RPTV e proiettori) hanno probabilità di occupare quote crescenti del mercato. Si crea quindi un circuito virtuoso per cui le crescenti vendite consentono di ammortare gil investimenti iniziali, ridurre i prezzi e aumentare la penetrazione nel mercato.

Ne consegue che l'emergere di nuove tecnologie è penalizzato, a meno che esse presentino significativi vantaggi in termini di ingombro (ad esempio la tecnologia OLED, grazie al ridottissimo spessore, potrebbe competere con le altre tipologie di schermi piatti), di efficienza o di prezzo.

Infine la disponibilità di schermi ad elevata dimensione e piatti consente l'evoluzione e l'introduzione di nuovi tipi di servizi, ad esempio la visione autostereoscopica, come descritto nella scheda "Display a cristalli liquidi autosteroscopici" pubblicata in questo stesso numero di Elettronica e Telecomunicazioni.

Bibliografia

1. "Display al plasma (PDP, ALiS)", Elettronica e Telecomunicazioni, agosto 2002, p. 38
2. "Display a cristalli liquidi (LCD, DSTN, TFT)", idem, p. 32
3. "OLED, una tecnologia emergente per i display", idem, p. 50
4. "Proiettori a microspecchi (DMD™, DLP™)", idem, p. 42

I sistemi di visualizzazione al Centro Ricerche per i 50 anni della televisione

Il precedente numero, di aprile, di Elettronica e Telecomunicazioni è dedicato al percorso espositivo realizzato al Centro Ricerche in occasione dei 50 anni della televisione.

Questo percorso è un'occasione per ripercorrere alcune delle tappe tecnologiche nello sviluppo dei sistemi di visualizzazione del segnale televisivo e per fruire di alcuni clip video presentati su display che utilizzano le diverse tecnologie (PDP, LCD e proiettori, sia LCD che DMD).

oggi - sistema di proiezione con specchi asferici, se posto a 6 cm di distanza dsilo schermo si ottiene un'immagine da 40", risoluzione DMD 1024x768, luminosità fino a 1500 lumen, vita lampada fino a 2500 ore, contrasto 3000:1, peso 5,9 kg (NEC)

oggi - proiettore LCD 1024 x 768 luminosità fino a 3200 lumen vita lampada fino a 3000 ore contrasto 800:1 (NEC)

1989 - monitor HDM 3830, CRT analogico da 38", alta definizione, 16:9, 1125 righe, dimensioni 1030 x 764 x 865 mm, peso 184 kg, 350 W (SONY)

1935 - Iconoscopio di Zworykyn progenitore della tv elettronica, costruzione R.C.A./U.S.A.

1952 - Televisore B/N Philips mod. "TD 1410 U", schermo rettangolare, 24 valvole: utilizzato in Rai agli esordi come monitor di controllo.

Che cosa è, come funziona: display a cristalli liquidi autostereoscopici

Marzio Barbero e
Natasha Shpuza

1. Premessa

La prima delle "schede" della serie "Che cosa è, come funziona", nel numero di agosto 2002 di Elettronica e Telecomunicazioni, era intitolata "display a cristalli liquidi (LCD, DSTN, TFT)". A distanza di due anni ci si occupa ancora di display piatti, a cristalli liquidi, ma specificatamente di quelli destinati alla visualizzazione autostereoscopica.

Le informazioni qui raccolte sono a complemento degli articoli sulla televisione stereoscopica che compaiono in questo numero della rivista.

Noi percepiamo il mondo che ci circonda come tridimensionale grazie a più indizi contemporanei: la prospettiva (le dimensioni apparenti degli oggetti dipendono dalla loro distanza), l'occlusione (gli oggetti più vicini impediscono di vedere quelli dietro loro), effetti atmosferici (gli oggetti più distanti appaiono meno distinti). Molti di questi elementi sono presenti anche in immagini bi-dimensionali e concorrono a farci interpretare la scena come tridimensionale. Ma un ulteriore fattore importante per la percezione tridimensionale consiste nella visione stereoscopica, cioè nel fatto che l'informazione percepita attraverso i nostri due occhi è leggermente diversa, il nostro cervello è in grado di elaborare queste differenze per valutare la distanza relativa degli oggetti.

Un display autostereoscopico consente all'osservatore, privo di occhiali o altri dispositivi dedicati in prossimità del suo corpo, di percepire un'immagine tridimensionale, fornendo due immagini differenti ai suoi occhi.

2. Cenni storici

2.1 Metodi a barriera

Nel 1692 il pittore francese Gaspard Antoine de Bois Clair dipinse due immagini differenti sulla stessa superficie piana a cui sovrappose una griglia di assicelle verticali, perpendicolari al dipinto. A seconda che si osservi il dipinto da sinistra, o da destra, appare una o l'altra delle due immagini, osservandolo ponendosi di fronte, appare una combinazione delle due immagini. Questo è il primo metodo di visualizza-

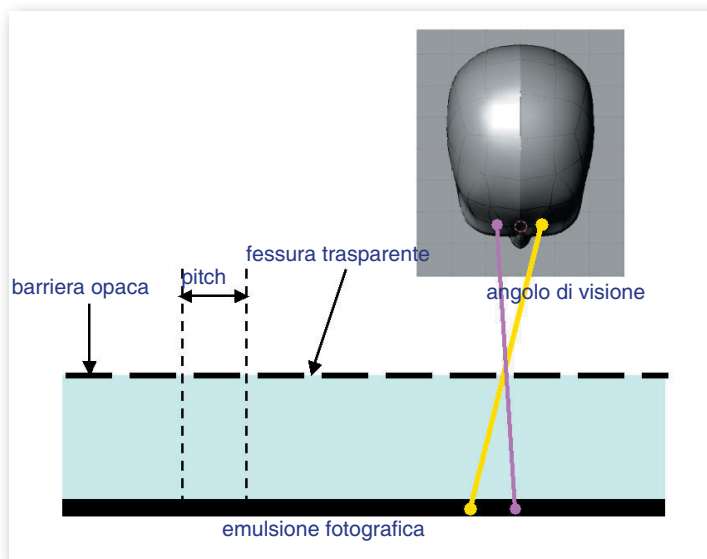
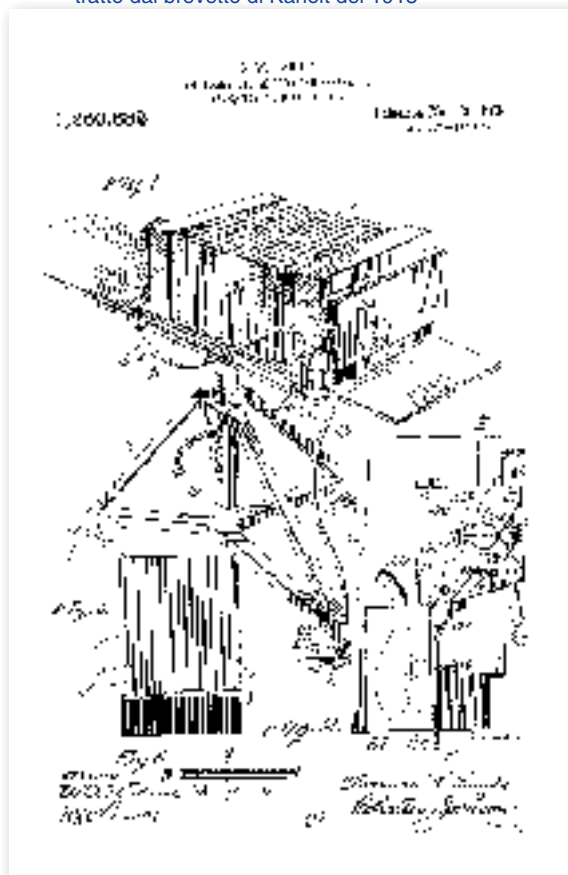



Fig. 1 - Lo schema (vista dall'alto) del sistema a barriera per realizzare il Parallax Stereogram

Fig. 2 - Disegno della Parallax Panoramagram Camera tratto dal brevetto di Kanolt del 1918

zione autostereoscopica, denominato "a barriera", che fu successivamente proposto, usando metodi fotografici, contemporaneamente, ma indipendentemente da Jacobson e da Berthier nel 1896.

Friederic E. Ives nel 1906 brevettò il *Parallax Stereogram* (figura 1). Uno schermo (elementi opachi intercalati con elementi trasparenti di larghezza inferiore) costituisce una barriera che, separata dalla lastra fotografica da un vetro trasparente di opportuno spessore, consente a ciascun occhio di vedere le strisce corrispondenti ad una delle due immagini con cui è impressionata la lastra. Il processo per impressionare la lastra avviene in modo analogo, utilizzando la stessa barriera per realizzare le due immagini interlacciate verticalmente.

La visione di questi tipi di stereogrammi è fortemente limitata dal fatto che la corretta percezione è possibile solo se l'osservatore si pone in una zona ben delimitata, caratterizzata da un piccolo angolo di visione.

Per superare questa limitazione vennero aggiunte viste multiple oltre alle due principali, in modo da consentire un più ampio angolo di visione. Nel brevetto del 1918 di Clarence W. Kanolt (figura 2) è prevista una fotocamera di grande formato che muove lo schermo barriera tra un'esposizione e la successiva. L'inventore coniò il termine *Parallax Panoramagram* per indicare tali immagini con viste stereo multiple.

Questa tecnica fu perfezionata dal figlio di Fredrick E. Ives, il fisico Herbert Ives (1882-1953) (figura 3): fu il primo a creare immagini usando una fotocamera con lente di grande apertura (12 pollici). Successivamente, per eliminare il problema dei raggi luminosi indesiderati, Ives sostituì

RADIORARIO 3

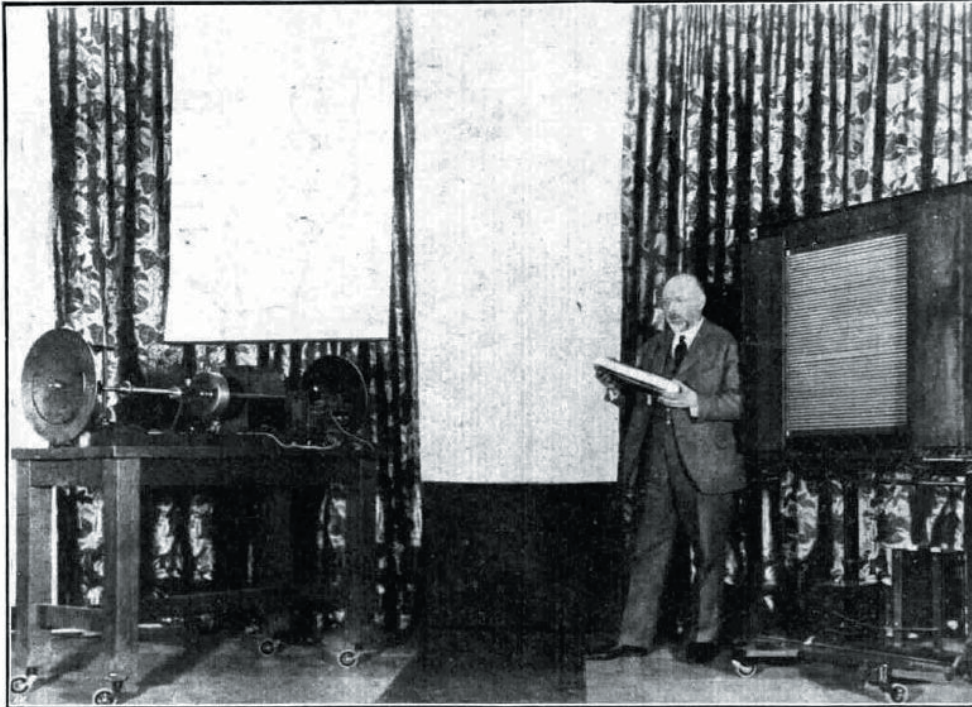
I recenti progressi della televisione

Il Dott. Ives mentre dà una spiegazione teorico-pratica del nuovo sistema. A destra si può vedere lo schermo speciale costituito da tubi al neon; a sinistra un complesso dimostrativo della trasmissione e ricezione dell'immagine. Il Dott. Ives tiene in mano una delle grosse celle fotoelettriche speciali da lui elaborate.

Fig. 3 - Una foto del dott. H. Ives tratta da un articolo di A. Banfi pubblicato su Radiorario nel 1927. Ives è raffigurato mentre illustra un dispositivo per visualizzare immagini televisive costituito da un tubo di vetro contenente neon rarefatto, ripiegato 50 volte e contenente 2500 elettrodi, in modo da costituire uno schermo da 60x60 cm.

la lente di grande diametro con una lente di diametro più piccolo (analoga a quelle di una normale macchina fotografica) che, posta ad una distanza dalla barriera uguale o superiore al diametro della lente grande, scandiva l'immagine da sinistra a destra.

Questa tecnica è alla base di sistemi a scansione ancora in uso oggi.

2.2 Metodi a integrazione

Nel 1908 il fisico Gabriel M. Lippmann, premio Nobel noto per l'invenzione della riproduzione fotografica a colori, propose l'uso di una serie di lenti (f*ly-eye lens array*, a occhio di mosca, figura 4) poste sulla immagine, anziché una barriera di linee opache.

Fig. 4 - Ingrandimento di una schiera di lenti a occhio di mosca (fly's eye)

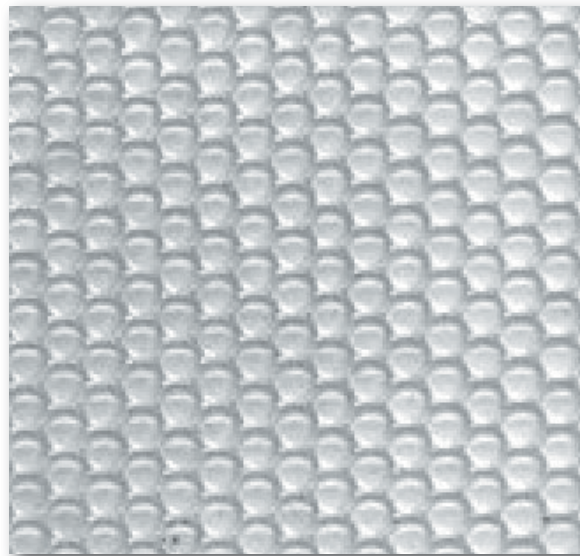
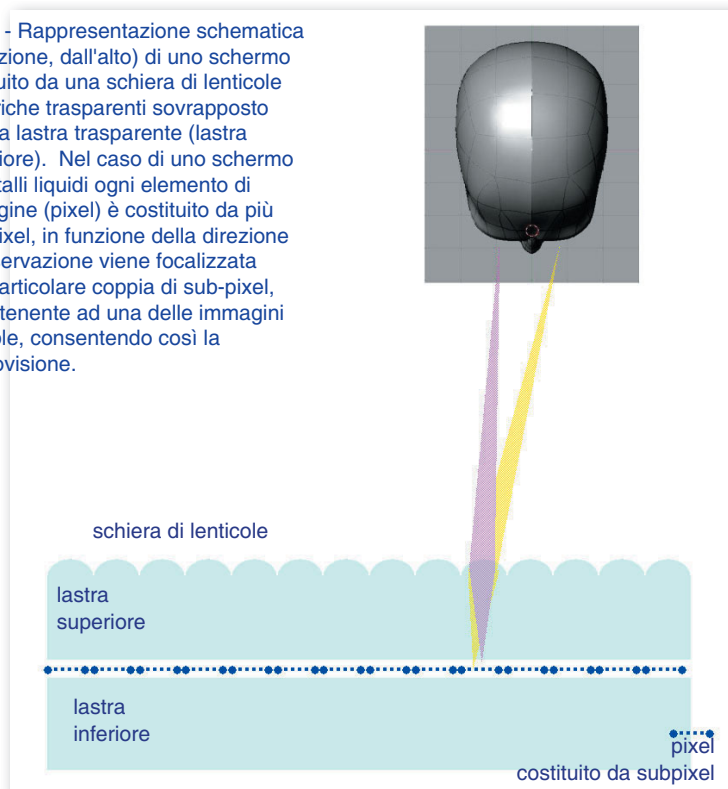



Fig. 5 - Rappresentazione schematica (in sezione, dall'alto) di uno schermo costituito da una schiera di lenticole cilindriche trasparenti sovrapposto ad una lastra trasparente (lastra superiore). Nel caso di uno schermo a cristalli liquidi ogni elemento di immagine (pixel) è costituito da più sub-pixel, in funzione della direzione di osservazione viene focalizzata una particolare coppia di sub-pixel, appartenente ad una delle immagini multiple, consentendo così la stereovisione.

2.3 Metodi lenticolari

A partire dalla fine degli anni '20 molti ricercatori, tra cui H. Ives proposero di semplificare la schiera a occhio di mosca di Lippmann con una schiera di lenticole (*lenticular lens array*). Questo dispositivo è costituito da una schiera di lenticole cilindriche piano-convesse, trasparenti (figura 5). La schiera ha una superficie piana, piano focale delle lenticole, su cui può essere depositato un film costituito da una emulsione fotosensibile. Quando il film è esposto ai raggi luminosi provenienti da una particolare direzione, una volta sviluppato, i raggi da esso provenienti verranno diretti dalla schiera di lenticole nella stessa direzione.

Negli anni '60 le tecniche lenticolari ebbero un rapido sviluppo che portò alla realizzazione e diffusione di figurine, cartoline postali, copertine di libri e riviste.

Nel 1968 un brevetto di D. F. Winnek descrive l'approccio di inclinare le lenticole per eliminare l'effetto ottico di *moiré* e rendere uguali la risoluzione orizzontale e verticale.

2.4 Autostereogrammi

Un risultato ottenuto nel 1959 da Bela Julesz studiando al Bell Labs i problemi psicologici della visione e percezione fu la dimostrazione che il cervello umano può ricostruire l'informazione tridimensionale a partire da immagini che apparentemente non contengono forme relative ad oggetti solidi, tali da fornire gli indizi tipici nella visione del mondo reale.

La dimostrazione avvenne mediante uno stereoscopio ed una coppia di stereogrammi costituiti da punti casuali (RDS, *Random Dot Stereogram*).

Il passo successivo fu la dimostrazione che non sono necessarie due distinte immagini per causare la percezione della profondità, nel 1979 Tyler e Clarke realizzarono il primo RDS costituito da una sola immagine (SIRDS, *Single Image RDS*).

In seguito si diffusero programmi per elaborare autostereogrammi ad una sola immagine, utilizzati per realizzare cartoline, poster e, a scopo ludico, anche immagini televisive (figura 6).

3. Schermi LCD autostereoscopici

Lo sviluppo dei pannelli piatti LCD a matrice attiva ha reso possibile, a partire dagli anni '90, la realizzazione di schermi con una risoluzione sufficientemente elevata per realizzare schermi autostereoscopici

che utilizzano schiere di lenticole cilindriche inclinate. Particolarmente attiva la ricerca in questo campo nei centri dell'istituto Heinrich Hertz di Berlino, British Telecom, Philips e Sharp in Gran Bretagna.

3.1 Schermi a schiera di lenticole

La figura 5 rappresenta schematicamente il principio di funzionamento di un pannello 3D-LCD a schiera di lenticole. La schiera è depositata sopra uno schermo LCD in modo che il piano di immagine corrisponda a quello focale delle lenti. Un osservatore che si trova perpendicolare allo schermo vede la porzione di LCD che si trova al centro di ciascuna lente. Un osservatore non in asse rispetto allo schermo vede una porzione dello schermo leggermente a destra o sinistra rispetto al centro della lente. Se ad ogni lente non corrisponde un singolo pixel, ma un certo numero di sub-pixel, allora i due occhi dell'osservatore percepiscono, per ciascuna lente, due sub-pixel differenti, e si ottiene così l'effetto stereoscopico.

In figura 7 è illustrato come, avendo un numero sufficientemente alto di sub-pixel (ad esempio 7 o 9) è possibile consentire una visione autostereoscopica anche se l'osservatore non si trova in asse con lo schermo: muovendo la testa, gli occhi osservano, per ciascun pixel, differenti paia di sub-pixel, mantenendo una visione stereoscopica continua per ampi angoli di visione (circa 150°).

La disposizione della schiera di lenticole rispetto alla matrice di subpixel ha un ruolo importante nel migliorare la percezione visiva tridimensionale (figura 8).

L'uso della tecnica *multiview* qui descritta implica una riduzione della risoluzione dell'immagine percepita dall'osservatore, infatti, in base alla sua posizione, perce-

Fig. 6 - La prima e quarta pagina di copertina del numero 2/3 del 1995 di Elettronica e Telecomunicazioni, Esempi di stereogrammi utilizzati come immagini televisive.

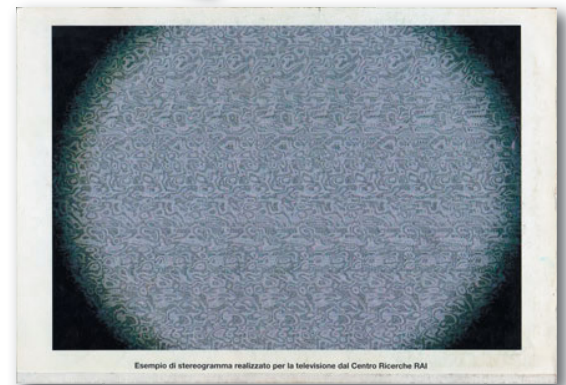
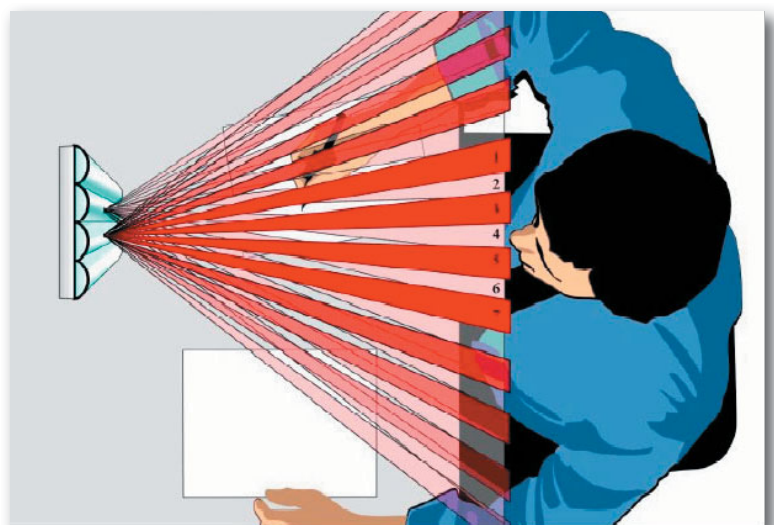



Fig. 7 - Suddividendo l'area corrispondente ad ogni pixel in sub-pixel è possibile avere l'illusione tridimensionale anche nel caso di movimenti ampi della testa oppure nel caso di più osservatori contemporaneamente (Multiview 3D-LCD).

Tab. 1 - Parametri relativi ad un prototipo di display dalla Philips e dimostrato nel 2004 al CeBIT in Hannover

LCD	*risoluzione (numero di pixel)*	*1600 (x3) x 1200*
	dimensione (diagonale)	*20,1 pollici*
	sub-pixel pitch (µm)	*85 x 255*
3D-LCD	*numero di viste*	*9*
	risoluzione (per ciascuna vista)	*533 x 400 x RGB*
	distanza di lavoro (mm)	*300 - 1500*

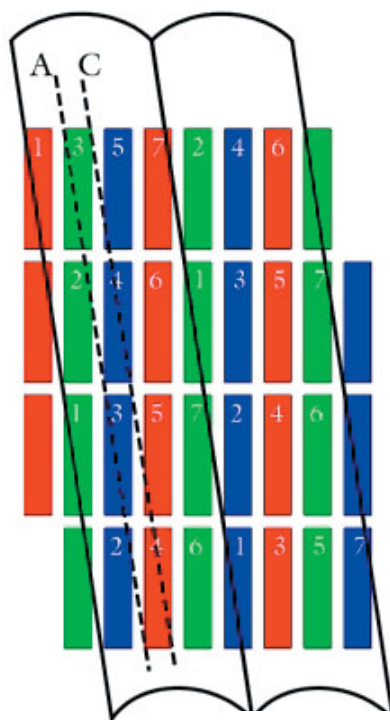



Fig. 8 - Un'opportuna scelta della disposizione della schiera di lenticole cilindriche rispetto alla matrice di subpixel consente di minimizzare l'effetto *moiré* fornendo, quando l'osservatore muove la testa, la senzazione di una transizione progressiva da una vista a quella successiva, piuttosto di percepire una successione brusca tra una sequenza di viste.
In figura è rappresentata la struttura proposta dalla Philips per display a 7 viste.

Fig. 9 - L'immagine con cui viene pubblicizzato uno dei quattro schermi (da 18 a 22,2 pollici) prodotti dalla californiana StereoGraphics Corporation Lo schermo LCD a più alta risoluzione (3840 x 2200) è 22,2", angolo di visione orizzontale in 3D pari a 110*, 170° in 2D.

pisce solo coppie di sub-pixel. In tabella 1 sono riportati alcuni parametri di un prototipo di display LCD-3D.

Schermi come quello in figura 9, basati sulla struttura a lenticole, con 9 viste, sono disponibili sul mercato e sono proposti soprattutto come insegne elettroniche in esposizione o per chioschi elettronici.

3.1 Schermi a barriera

L'evoluzione degli schermi autostereoscopici, come abbiamo visto, ha avuto inizio con gli schermi a barriera.

Ma anche schermi ben più recenti, a LCD, utilizzano il *Parallax barrier* per ottenere l'effetto autostereoscopico.

Al posto delle assicelle di legno utilizzate alla fine del '600 la barriera viene oggi realizzata da un moderno cristallo liquido in grado di commutare (*switching liquid crystal*) e controllare la direzione con cui la luce viene emessa dal pannello, in modo da fornire immagini diverse agli occhi destro e sinistro (figura 10).

Utilizzando questa tecnica è stato realizzato, nel novembre del 2002, un telefono cellulare distribuito in Giappone dalla NTT DoCoMo (figura 11).

Nel dicembre 2003 è stato lanciato il primo notebook dotato di schermo autostereoscopico (figura 12) e dal settembre di quest'anno è disponibile un monitor XGA LCD-3D (figura 13). Un limite del sistema *parallax barrier* è l'angolo di visione ottimale, molto stretto; la testa dell'osservatore deve trovarsi in prossimità del punto denominato *sweet spot*: per facilitare il posizionamento un indicatore è posto sullo schermo, in basso.

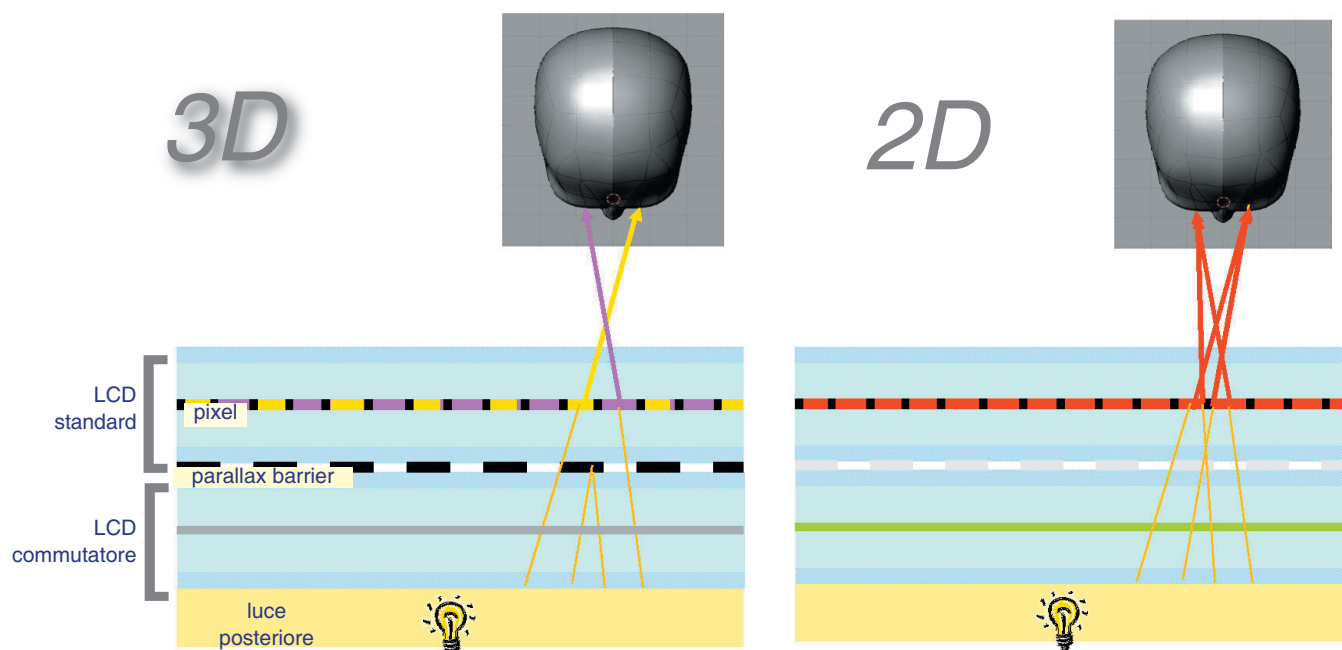



Fig. 10 - Nel sistema a parallax barrier sviluppato dalla Sharp lo schermo è composto da due pannelli LCD. Quello più vicino all'osservatore è un LCD standard, mentre l'altro, prossimo alla lampada che fornisce la luce, include un cristallo liquido in grado di commutare dallo stato trasparente a quello opaco. Nella modalità 2D questo strato è trasparente e il pannello si comporta come un normale LCD a matrice attiva. Nella modalità 3D lo strato del pannello LCD commutatore viene attivato creando una barriera che fa si che solo metà dei pixel sia visibile all'occhio destro e l'altra metà all'occhio sinistro. Si ottiene così l'effetto stereoscopico, a spese di un dimezzamento della risoluzione orizzontale e della luminosità.

Fig. 11 - Il primo telefono con display LCD autostereoscopico da 2,2 pollici. Lanciato nel novembre 2002 in Giappone dalla NTT DoCoMo: ne sono stati venduti più di 2 milioni di esemplari. Il modello successivo (giugno 2003) è dotato di display da 2,4 pollici (176 x 220 punti immagine) e include un gioco 3D.

Fig. 12 - Il primo notebook con uno schermo LCD da 15" che può commutare il modo operativo da 2D a 3D (Sharp Actius 3DRD). Schermo da 15 pollici, 1024 x 768 punti immagine.

Fig. 13 - Monitor con schermo da 15", utilizza la stessa tecnologia adottata per il notebook ed il costo è inferiore 1500 $.

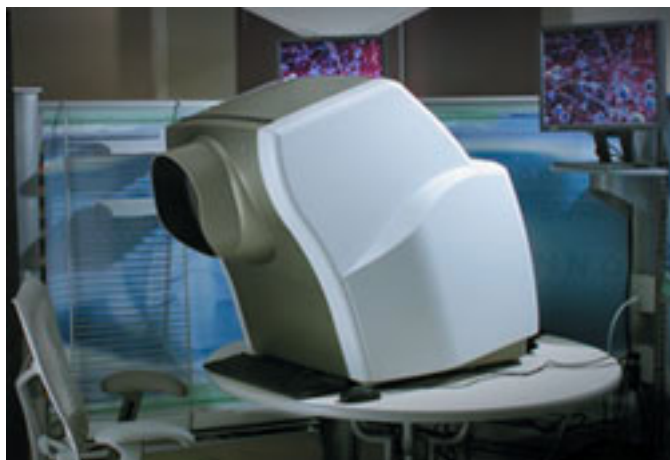



Fig. 14 - Sistema autostereoscopico sviluppato dalla Kodak, presentato a settembre di quest'anno. Le immagini virtuali sono create da due schermi LCD (SXGA, 1280 x 1024). Secondo i progettisti il sistema brevettato, basato su una lente sferica monocentrica (*monocentric ball lens*) supera i problemi che incontra, con i sistemi a barriera o lenticolari, l'utilizzatore a trovare la posizione ottima di osservazione, causa dei fenomeni di affaticamento.

4. Il mercato

Abbiamo visto che le tecniche adottate per realizzare schermi autostereoscopici hanno radici molto lontane nel tempo, ma solo nell'ultimo decennio lo sviluppo e l'ampia diffusione di schermi piatti e di elevata risoluzione ha reso possibile la produzione di dispositivi a costi accessibili.

I prodotti disponibili, anche quelli recentemente annunciati (figura 14) sono diretti verso innumerevoli applicazioni, spesso "di nicchia": visualizzazione di dati (modelli molecolari e chimici, previsioni del tempo), medicina, progettazione industriale (CAD, prototipizzazione virtuale, CAM, architettura), divertimento, commercio (e-showrooms, tour virtuali), educazione e musei.

Ci sono motivi per ritenere che in un prossimo futuro diventino dispositivi di uso comune, in campo informatico o televisivo?

Nota 1 - standard approvato, pubblicazione prevista per ottobre 2004, ISO/IEC 19775 (X3D architecture and base components), bozze FDIS 19776 (X3D encodings, XML e VRML) e FCD 19777 (X3D language bindings).

Nota 2 - Uno fra i profili previsti da XD3 vi è M*PEG-4 Interactive* progettato per il broadcasting, i dispositivi palmari e i telefoni mobili.

Il web 3D Consortium (*web3D, Open Standards for Real-Time 3D Communications*) ha istaurato accordi cooperativi con w3c (responsabile dell'evoluzione del web), MPEG (alle origini degli standard di compressione audio-video) per promuovere la creazione di standard[Nota 1] su cui basare i futuri sviluppi in ambito di applicazioni 3D. X3D è uno standard aperto XML per rendere possibile la distribuzione di dati 3D in tempo reale per tutte le applicazioni attraverso la rete. Fra le applicazioni, oltre quelle tecniche e scientifiche, sono previste quelle multimediali[Nota 2], connesse al divertimento (in particolare giochi).

La modalità di fruizione dei prodotti multimediali può venire catalogata sotto tre forme: disteso, seduto, in piedi (figura 15).

Negli ultimi anni si è assistitito ad una rapida crescita delle possibilità offerte dalla modalità "in piedi": i telefoni cellulari stanno evolvendo in mezzi di distribuzione accessibili ai singoli, in ogni luogo, in grado di elaborare audio e video. Dal 2003 sono in grado di operare su immagini fisse, dal 2004 le capacità si sono estese al video, gli attuali utilizzatori di dispositivi wireless per giochi interattivi sono circa 5 milioni, ma si prevede che cresceranno a 130 milioni nel 2005. In pratica dispositivi in grado di elaborare informazioni audio-video arricchite saranno ampiamente diffusi a partire dal 2006.

I personal computer, terminali multimediali per fruizione da "seduti" hanno sempre più elevate capacità elaborative e sono dotati di display ad alta risoluzione, la banda disponibile per l'accesso di prodotti multimediali in rete aumenta e il suo costo diminuisce.

La fruizione di un ambiente tridimensionale in rete (cellulare o fissa) non necessariamente richiede un display 3D, ma senz'altro molte delle applicazioni 3D che

Disteso (la tv in casa, in salotto)
- grande schermo
- più spettatori contemporaneamente
- scarsa interattività

Fig. 15 - Le tre modalità di fruizione dei prodotti multimediali: *lean-back* (ovvero disteso sulla poltrona del salotto), *sitting* (seduto di fronte al monitor del computer), *standing* (in piedi, utilizzando un telefono cellulare o un palmare).

Seduto (in casa o in ufficio)
- piccolo schermo
- singolo utente
- interattività elevata
- capacità di canale elevata

In piedi (sistemi mobile, UMTS):
- piccolo schermo
- singolo utente
- interattività limitata
- capacità di canale limitata e costosa

saranno sviluppate trarranno beneficio da un tale tipo di visualizzazione.

Le limitazioni dell'angolo di visualizzazione ottimale, tipiche degli schermi autostereoscopici, sono accettabili quando le modalità di fruizione sono "in piedi" e "seduto", finalizzate all'uso dell'utente singolo.

Gli operatori del settore vedono quindi la possibilità di sfruttare queste tendenze e, nel marzo 2003, cinque aziende giapponesi hanno avviato il 3D Consortium con lo scopo di "creare" il mercato dei display stereoscopici 3D. A testimoniare l'interesse per lo sviluppo di tale mercato da parte dell'industria e degli operatori nelle telecomunicazioni, un anno dopo, febbraio 2004, il numero dei membri del consorzionera salito a 112.

E' quindi prevedibile che in breve tempo saranno disponibili servizi che traggono beneficio dall'uso di display autostereoscopici, dispositivi che, d'altro canto, avranno costi alla portata economica degli utenti, probabilmente di poco superiore a quello dei display LCD esclusivamente 2D.

I costi di realizzazione di prodotti multimediali fruibili anche in visione stereoscopica potrebbero non rappresentare una barriera, in particolare nel caso di spot pubblicitari e cartoni animati (già oggi spesso realizzati con tecniche di modellazione tridimensionale).

La diffusione televisiva di programmi in stereovisione probabilmente dovrà attendere tempi più lunghi, dovuti alla definizione degli standard di trasmissione e al fatto che, come abbiamo visto, la fruizione "da disteso", ancora predominante in campo televisivo mal si adatta alle limitazioni degli attuali schermi autostereoscopici in termini di angolo ottimo di visione (orizzontale e verticale).

Alcune aziende si pongono come missione lo sviluppo di display, contenuti e software per giungere alla diffusione televisiva stereoscopica; nell'ipotesi che

dapprima trovi impiego per la diffusione di pubblicità e successivamente di una completa programmazione.

Riferimenti bibliografici

Sulla storia dello sviluppo dei display autostereoscopici:

D. E. Roberts, "History of Lenticular and related Autostereoscopic Methods", www.microlens.com/HistoryofLenticular.pdf.

Informazioni su tecnologie e dispositivi citati nel testo sono reperibii in:

www.research.philips.com/InformationCenter (nella sezione tecnologies 3-D displays)

www.sle.sharp.co.uk/research (nella sezione optical imaging technology)

www.stereographics.com

www.kodak.com/US/en/corp/researchDevelopment/whatWeDo/ventures/index.shtml

La X3D ha una divisione specifica per il Broadcast. Realizza filtri da applicare su schemi piatti (plasma 50" da 1280x768 elementi di immagine e LCD-TFT da 19", 1280x1024) e dichiara di operare per rendere il loro software compatibile con gli attuali standard digitali televisivi, al fine di fornire licenze a produttori di set-top-box e televisori.

www.x3d.com

I siti dei consorzi citati, web 3D Consortium e 3D Consortium, sono rispettivamente alle URL:

www.web3d.org/

www.3dc.gr.jp/english/index.html

Redazionale Radiorario (1928)
La Televisione Stereoscopica

E' qui riprodotto il redazionale del Radiorario (successivamente Radiocorriere) del 1928 in cui si descrive la dimostrazione effettuata da John Baird sulla trasmissione di immagini tridimensionali.

John L. Baird ha dimostrato innanzi ad un gruppo di competenti e rappresentanti della stampa, l'ultima sua applicazione in materia di televisione, consistente nella trasmissione e ricezione di immagini movibili con l'apparenza del rilievo e quindi nelle tre dimensioni con le quali l'occhio umano percepisce dal vero le persone che si incontrano. La differenza importantissima consiste nel fatto che, invece di vedere una figura piatta come quelle di una fotografia, si osserva la figura come se fosse effettivamente un essere vivente, poiché la televisione stereoscopica, nel dare all'immagine l'apparenza della solidità o profondità, la completa in tutti i suoi particolari come quando si osserva ad occhio nudo.

Applicando il medesimo principio dello stereoscopio, Baird ha costruito un apparecchio il quale trasmette le figure in modo tale che l'apparecchio ricevente le riceva anche con l'apparenza della profondità e così accoppiando a tale sistema l'altro concernente la trasmissione delle figure nei loro colori naturali, si può assistere ad una scena di radio-visione come se si osservasse una scena naturale. Le imperfezioni dovute ai disturbi statici ed alle interferenze, attualmente inevitabili nelle tra-

RADIORARIO

La nuova orchestra di 1 Na

La Televisione Stereoscopica

Importante Comunicazione per gli uomini di affari.

smissioni di onde radio attraverso l'etere, potrebbero, per così dire, fare vedere le figure attraverso un velo di nebbia, con punti o strisce nere più o meno persistenti, ma l'immagine non mancherebbe di sembrare reale.

Nella recentissima dimostrazione fatta da Baird nei suoi Laboratori di Long Acre, gli spettatori sono rimasti stupefatti ed il prof. Cheshire, già presidente della Società Ottica Britannica, ha dichiarato che tali esperimenti promettono un considerevole sviluppo e dei risultati importanti nella loro pratica applicazione.

Un uomo, che sedeva innanzi al trasmettitore venne ricevuto all'apparecchio ricevente, collocato in un altro laboratorio del medesimo palazzo, con uma chiarezza sorprendente, in rilievo perfetto, mostrando con precisione assoluta le linee del viso e la sua espressione. Il passo avanti fatto nella televisione con simili sviluppi ha una importanza effettivamente di prim'ordine, benchè il principio dello stereoscopio sia cose ben nota.

La parte principale dell'apparecchio trasmittente - informa un collaboratore de "La Stampa" - consiste in un disco con due serie di buchi, in forma di spirale, disposte nelle due opposte metà della superficie del disco. Verso il margine di metà della circonferenza del disco girevole si trova una spirale e nell'altra metà vi è la seconda spirale di buchi rotondi; però, questa, invece di essere collocata vicino al margine esterno, è circa dieci centimetri più in dentro. Secondo quanto abbiamo detto precedentemente, detta separazione fra le due spirali verrebbe a corrispondere alla distanza che divide gli occhi umani. Dietro il disco trasmittente si trova montata la sorgente di luce, la quale ha due lampadine, una per ogni spirale, disposte in modo tale che i raggi partenti da esse, per illuminare il soggetto da trasmettere, attraversino il disco lungo una linea retta che da ogni lampadina va al soggetto, passando da una e dall'altra spirale. Tra il disco ed il soggetto si trovano due lenti, una vicina all'altra, e da esse passano i due raggi che attraversano le due spirali dei disco, cioè una lente riceve il raggio proveniente dalla spirale più esterna, mentre l'altra lente riceve quello che attraversa la spirale più vicina al centro del disco. In questo modo due luci distinte, passando dalle lenti, attraversano alternativamente l'oggetto o la scena da trasmettere e quindi, invece di una sola, vengono trasmesse due immagini una immediatamente dopo l'altra e precisamente nel tempo impiegato dal disco per fare un intero giro: ogni mezzo giro avviene la trasmissione di una delle due immagini e così di seguito. Tra il soggetto e le lenti è collocata la cellula fotoelettrica, che viene attraversata dai due raggi luminosi e imprime alla corrente le variazioni corrispondenti alla intensità della luce. La cellula fotoelettrica comunica col radio trasmettitore, che lancia nell'etere le onde elettromagnetiche modulate dagli impulsi di radio-visione.

Alla stazione ricevente viene usato un metodo simile. Un disco con la medesima disposizione di buchi in doppia spirale gira ugualmente come il disco dell'apparecchio trasmittente. Dietro il disco ricevente vi è una lampada a gas neon, disposta come quelle usate nella comune televisione. Essa copre tutte e due le spirali e le illumina alternativamente, in modo che sullo schermo di ricezione appariscano due immagini, una vicino all'altra.